



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA CHEMICKÁ**  
**ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE**

FACULTY OF CHEMISTRY  
INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

## **VLIV DERIVÁTŮ PYRROLIDONU NA ALKYDOVÉ A POLYURETANOVÉ POVLAKY**

INFLUENCE OF PYRROLIDONE DERIVATES ON ALKYD AND POLYURETHANE COATINGS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**EDITA VYHNÁNKOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. JAROMÍR TULKA, CSc.**

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce:	<b>FCH-BAK0619/2010</b>	Akademický rok: <b>2010/2011</b>
Ústav:	Ústav fyzikální a spotřební chemie	
Student(ka):	<b>Edita Vyhnánková</b>	
Studijní program:	Chemie a chemické technologie (B2801)	
Studijní obor:	Spotřební chemie (2806R002)	
Vedoucí práce	<b>Ing. Jaromír Tulka, CSc.</b>	
Konzultanti:		

### Název bakalářské práce:

Vliv derivátů pyrrolidonu na alkydové a polyuretanové povlaky

### Zadání bakalářské práce:

1. Literární rešerše odolnosti alkydových a polyuretanových povlaků proti působení vybraných organických rozpouštědel s důrazem na deriváty pyrrolidonu.
2. Laboratorní testy odolnosti alkydových a polyuretanových povlaků proti působení N-methyl-2-pyrrolidonu, N-ethyl-2-pyrrolidonu a N-oktyl-2-pyrrolidonu.
3. Vyhodnocení výsledků a technické, toxikologické a ekologické zhodnocení vhodnosti použití jednotlivých derivátů.

### Termín odevzdání bakalářské práce: 6.5.2011

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

-----  
Edita Vyhnánková  
Student(ka)

-----  
Ing. Jaromír Tulka, CSc.  
Vedoucí práce

-----  
prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.  
Ředitel ústavu

V Brně, dne 31.1.2011

-----  
prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce bylo doplnit údaje o odolnosti povlaků vytvořených nátěrovými hmotami na bázi alkydových a polyuretanových pryskyřic. V teoretické části byly shromážděny a utříděny relevantní informace z oblasti nátěrových hmot, teorie rozpouštění a vlastností rozpouštědel. Pro praktickou část pak byly vybrány tři N-deriváty pyrrolidonu. Předmětem studia bylo jejich působení na konkrétní alkydové a polyuretanové povlaky se zvláštním důrazem na zjištění časového průběhu degradace nátěrů.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis was to append data on chemical resistance of coatings made of paints based on alkyd and polyurethane resins. In the theoretical part, relevant information on coatings, preparation of their systems, theory of solubilization and properties of solvents were collected and organized. Three N-derivates of pyrrolidone were chosen for the practical part. Their influence on particular alkyd and polyurethane coatings was studied with emphasis on time course of coatings degradation.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Povlak, (chemická) odolnost, alkyd, polyuretan, rozpouštědla, pyrrolidon

## **KEYWORDS**

Coating, (chemical) resistance, alkyd, polyurethane, solvents, pyrrolidone

VYHNÁNKOVÁ, E. *Vliv derivátů pyrrolidonu na alkydové a polyuretanové povlaky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaromír Tulka, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....  
podpis studenta

*Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jaromíru Tulkovi, CSc., za účinnou pedagogickou a odbornou pomoc, cenné rady při řešení a zpracování mé bakalářské práce i projevenou trpělivost a ochotu.*

## Obsah:

1.	ÚVOD .....	7
2.	TEORETICKÁ ČÁST .....	8
2.1	Povrchové úpravy .....	8
2.1.1	Rozdělení povrchových úprav .....	8
2.2	Organické nátěrové hmoty .....	8
2.2.1	Rozdělení organických nátěrových hmot .....	9
2.2.2	Složení nátěrových hmot .....	10
2.2.2.1.	Pojidla .....	10
2.2.2.2.	Pigmenty .....	10
2.2.2.3.	Barviva .....	11
2.2.2.4.	Plniva a aditiva .....	11
2.2.3	Značení nátěrových hmot .....	11
2.3	Alkydové nátěrové hmoty .....	12
2.3.1	Příprava alkydů .....	12
2.3.2	Vlastnosti a použití alkydových nátěrových hmot .....	14
2.4	Polyuretanové nátěrové hmoty .....	15
2.4.1	Příprava polyuretanů .....	15
2.4.2	Vlastnosti a použití polyuretanových nátěrových hmot .....	15
2.5	Odolnost polymerů .....	16
2.5.1	Odolnost v přírodním prostředí .....	16
2.5.2	Odolnost v chemickém prostředí .....	17
2.6	Teorie rozpouštění .....	17
2.7	Rozpouštědla .....	18
2.7.1	Dělení rozpouštědel .....	18
2.7.2	Vybraná organická rozpouštědla .....	19
2.7.2.1.	Uhlovodíky .....	19
2.7.2.2.	Alkoholy .....	20
2.7.2.3.	Chlorovaná rozpouštědla .....	20
2.7.2.4.	Laktamy .....	20
2.7.2.5.	Acetaly .....	21
2.7.2.6.	Glykolethery a jejich acetáty .....	21
2.8	Způsoby odstraňování nátěrů .....	22
2.8.1	Chemické odstraňování .....	22
2.8.2	Pyrolytické odstraňování .....	22
2.8.3	Mechanické odstraňování .....	23
2.9	Statistické vyhodnocování .....	23
2.9.1	Výběrový průměr .....	23
2.9.2	Směrodatná odchylka .....	23
2.9.3	Interval spolehlivosti .....	23
3.	PRAKTICKÁ ČÁST .....	24
3.1	Příprava podkladového materiálu .....	24
3.2	Zhotovování zkušebních nátěrů .....	24
3.3	Použité nátěrové hmoty .....	24
3.3.1	Nátěrová hmota na bázi alkydových pryskyřic .....	25
3.3.2	Nátěrová hmota na bázi polyuretanových pryskyřic .....	25
3.4	Rozpouštědla – použité deriváty .....	25
3.4.1	N-methyl-2-pyrrolidon .....	26

3.4.2	N-ethyl-2-pyrrolidon.....	26
3.4.3	N-oktyl-2-pyrrolidon .....	27
3.5	Hodnocení nátěrů.....	27
3.5.1	Hodnocení vzhledu .....	27
3.5.1.1.	Lesk.....	27
3.5.1.2.	Barevný odstín.....	28
3.5.2	Tloušťka nátěru.....	28
3.5.3	Přilnavost nátěru .....	28
3.5.4	Tvrdost nátěru.....	30
4.	VÝSLEDKY A DISKUZE .....	31
4.1	Výsledky hodnocení vzhledu .....	31
4.1.1	Výsledky hodnocení změny lesku .....	31
4.1.2	Výsledky hodnocení barevného odstínu .....	32
4.2	Výsledky měření tloušťky suchého povlaku .....	32
4.3	Výsledky hodnocení přilnavosti povlaku .....	32
4.4	Výsledky hodnocení tvrdosti nátěru .....	33
4.5	Výsledky zkoušek chemické odolnosti.....	33
5.	ZÁVĚR .....	43
6.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	44
7.	SEZNAM ZKRATEK .....	46

# 1. ÚVOD

Ochranné a dekorativní povlaky tvoří významnou část povrchových úprav materiálů. Jednou z jejich významných vlastností je odolnost proti vlivům znehodnocujících prostředí, mezi které z hlediska agresivity zařazujeme především vlivy chemických látek a směsí.

Rozmanitost chemických prostředí a jejich vlivů na materiál, resp. jejich povrchové úpravy je tak rozsáhlá, že neexistuje dosud systémové řešení a pozornost je věnována pouze konkrétním technicky významným systémům znehodnocování. Jedná se především o vlivy kyselin, zásad, roztoků solí, paliv, maziv či provozních médií. Zatím je nedostatečná znalost o znehodnocujících vlivech organických rozpouštědel, především z pohledu jejich použití jako samostatných látek, ve směsích nebo jako součást různých rozpouštědlových, čisticích a jiných směsí.

Při výběru rozpouštědel je třeba přihlížet i k jiným požadavkům při průmyslových aplikacích, a to například k hořlavosti, vlivu na životní prostředí a zejména k toxikologickým vlastnostem.

Z tohoto pohledu byl v bakalářské práci zkoumán vliv tří N-derivátů pyrrolidonu (konkrétně N-methyl-2-pyrrolidonu, N-ethyl-2-pyrrolidonu a N-oktyl-2-pyrrolidonu) na vybrané povrchové úpravy typu ochranných a dekorativních povlaků na bázi alkydů a polyuretanů. Methyl-derivát byl v práci považován za standard toxického rozpouštědla, které je snaha nahradit jiným typem netoxickým.

Alkydy jsou jednou z nejdostupnějších variant nátěrových hmot. Vlastnosti alkydových nátěrů se liší dle surovin použitých k jejich výrobě, jak je uvedeno dále. Nejsou příliš chemicky odolné, nejcitlivější jsou vůči působení alkálií.[5] Ovšem fakt, že jejich hlavní složkou jsou relativně snadno obnovitelné zdroje, udržuje jejich cenu nízkou, a tudíž stále nacházejí uplatnění. Vzhledem k této skutečnosti je vhodné znát jejich reakci na použití agresivnějších rozpouštědel při jejich ošetřování či přímo odstraňování.

Polyuretanové nátěrové hmoty zažívají svůj rozmach. Většina výrobců odkazuje na jejich vysokou chemickou odolnost, ovšem bez bližší konkretizace podmínek, zda a za jakých podmínek byla odolnost zkoušena. Polyuretanové nátěrové hmoty odolávají působení zředěných kyselin, při jejich vyšší koncentraci svou odolnost ztrácejí. Obecně je u nich uváděna [2] odolnost vůči ropným produktům i jiným chemickým prostředím. Bez bližší specifikace však tento údaj má velmi malou vypovídací hodnotu. U mnoha průmyslově významných rozpouštědel odolnost nátěrů na bázi polyuretanů vůbec nebyla zkoumána. Dílčí práce byly provedeny na Fakultě chemické VUT v Brně [20], [21]. Zde byla provedena důkladná rešerše chemické odolnosti organických povlaků při působení vybraných typů rozpouštědel.

Hlavním cílem praktické části bylo zjistit časovou závislost stupně rozrušení povlaku působením sledovaných derivátů, tedy N-methyl-2-pyrrolidonu, N-ethyl-2-pyrrolidonu a N-oktyl-2-pyrrolidonu.

Výsledky experimentální části této bakalářské práce poskytují informace, kterých bude možno využít při formulaci směsí na odstraňování starých nátěrů a určování vhodnosti použití daných derivátů samostatně, ve směsích organických rozpouštědel nebo jako součást chemických výrobků určených pro čištění výrobků včetně jejich povrchové úpravy.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Povrchové úpravy

Pod pojmem povrchová úprava [1] rozumíme takové komplexní ošetření povrchu materiálu, které vede k žádoucímu zlepšení jeho vlastností. Povrchové úpravy jsou řazeny mezi strojírenské technologie, přestože charakter technologie vytváření některých povrchových úprav je převážně chemický.

#### 2.1.1 Rozdělení povrchových úprav

Povrchové úpravy lze rozdělit na základě různých hledisek.

Dělení povrchových úprav podle účelu:

- Dekorační: slouží k vylepšení vzhledu a estetických vlastností
- Ochranné: jsou určeny k ochraně před nepříznivým vlivem prostředí
- Speciální: zajišťují splnění specifických požadavků na povrch, jako je například odolnost proti otěru či elektrická vodivost

Dělení povrchových úprav podle funkce:

- Izolující nedostatečně odolný podklad od znehodnocujícího prostředí
- Izolující nedostatečně odolný podklad proti mechanickému poškození
- Izolující nedostatečně odolný podklad proti elektrochemickým vlivům
- Se speciální funkcí (např. signalizační nátěry, protipožární ochrana a jiné)

Dělení povrchových úprav na základě hlavní složky:

- Anorganické (nekovové) povlaky – např. oxidické, silikátové, modifikace rzi
- Kovové povlaky – např. zinkové, chromové
- Slitinové povlaky – např. nikl – fosfor, chrom – molybden, zinek – hliník
- Kompozitní (disperzní) povlaky – např. nikl-kobalt-karbid křemíku
- Organické povlaky – např. alkydové, polyuretanové, asfaltové
- Smalty (sklovité povlaky)

Dělení povrchových úprav na základě technologického postupu

- Elektrochemické
- Chemické
- Aplikované z taveniny
- Plátované, laminační
- Natírané, válečkované, clonované, máčené, stříkané
- Speciální (vytvářejí se např. působením laseru, plasmatickým nástřikem a jiné)

### 2.2 Organické nátěrové hmoty

Mezi nejvýznamnější a nejrozšířenější povrchové úpravy patří organické povlaky. Uplatňují se téměř ve všech odvětvích průmyslu. Aplikace povlaku bývá ve srovnání s celkovou hodnotou chráněného předmětu cenově přijatelným krokem. Vzhledem k této skutečnosti se k jejich použití přistupuje všude tam, kde není naprosto nutné chránit podklad pokovením, případně kde nejsou stanoveny speciální povrchové úpravy. [3] Životnost a ochranné vlastnosti nátěru jsou do značné míry dány vlastnostmi a množstvím obsažených pigmentů (antikorozi působení vhodných sloučenin olova či chromu, výrazná barevnost oxidů železa atp.). Naopak k fyzikálně-chemickým charakteristikám, jako jsou například přilnavost, sklony k bobtnání a další, větším podílem přispívá svými vlastnostmi použitá filmotvorná látka. Z toho



je zřejmé, že vlastnosti organických povlaků jsou závislé na celkové formulaci nátěrové hmoty a způsobu zhotovování nátěru.

Pojem nátěrová hmota [2] zahrnuje všechny výrobky, jejichž hlavní součástí jsou filmotvorné látky a které se nanášejí v tekutém, těstovitém nebo práškovém stavu na předmět, aby na něm vytvořily povlak požadovaných vlastností. Pro dosažení ideálních charakteristik výsledného nátěru je obvykle nezbytné vytvořit několikavrstvý systém jednotlivých tenkých povlaků – filmů. Hlavními požadavky kladenými na nátěr jsou míra ochrany podkladového materiálu, odolnost proti povětrnostním podmínkám, a v neposlední řadě i vylepšení vzhledu výrobku.

### 2.2.1 Rozdělení organických nátěrových hmot

K dělení nátěrových hmot lze zvolit různé přístupy. Nejzákladnější dělení se provádí na nátěrové hmoty *rozpouštědlové* a *bezrozpouštědlové*. Rozpouštědlové obsahují především organická rozpouštědla. Hmoty nesprávně označované jako *vodou ředitelné* lze zařadit do samostatné skupiny disperzních nátěrových hmot. Voda zde neslouží jako rozpouštědlo, ale jako disperzní prostředí obsažených složek.

Hmoty s obsahem pigmentu dělíme dle jeho rostoucího podílu na emaily, barvy, tmely a plně. Tyto hmoty vytvářejí neprůhledné povlaky s různým barevným odstínem a stupněm kryvosti. Nátěrové hmoty bez pigmentů rozlišujeme na fermeže napouštěcí, syntetická napouštědla, laky a emulze. Obvykle tvoří průsvitný až průhledný film, který bývá bezbarvý nebo obarvený v daném prostředí rozpustným barvivem. Výjimkou jsou asfaltové laky, které po zaschnutí vytvářejí neprůhledný film.

Podle základního pojídla lze rozlišit hmoty asfaltové, alkydové, olejové, celulózové, epoxidové, polyesterové, chlorkaučukové, polyuretanové, silikonové aj.

Dle počtu složek rozlišujeme jednosložkové, dvousložkové a vícesložkové nátěrové hmoty. Je zažité označování 1K, resp. 2K dle počtu složek – komponent.

Dělení podle pořadí nanesení vrstvy filmu:

- Napouštěcí vrstva: užitá k napuštění svého podkladu (např. dřeva)
- Základní: slouží jako první vrstva na nenapuštěný nebo nenatřený povrch
- Vyrovnávací: slouží k vyrovnání povrchu
- Podkladové: označení pro vrstvu pod vrchním nátěrem
- Vrchní: poslední vrstva, nejvíce se podílí na vzhledu celého nátěrového systému

Dělení podle způsobu zasychání:

- Chemické: reakcí (polymerací, oxidací apod.) dochází k přeměně nízkomolekulárních látek na vysokomolekulární
- Fyzikální: dochází k tuhnutí taveniny nebo odpaření rozpouštědla
- Chemicko-fyzikální: současně odpařování rozpouštědla a chemické pochody

Dělení podle podmínek při zasychání:

- Na vzduchu schnoucí: za podmínek prostředí
- Vhodné k přisoušení: pozitivní vliv zvýšené teploty
- Vypalovací: při zvýšené teplotě dochází k chemické reakci způsobující tvorbu filmu
- Zářením vytvrzované: k vytvoření filmu je nutné působení záření (UV, IR)

Nátěrové hmoty lze dále rozdělovat podle účelu použití na interiérové, exteriérové a speciální, přičemž rozhodující vlastností je zde odolnost proti působení nepříznivých atmosférických vlivů a chemikálií. Stejně tak je možné je rozlišit dle materiálu, na nějž jsou určeny (na kov, dřevo, beton, omítky, na kůži apod.) a podle dalších kritérií.

### 2.2.2 Složení nátěrových hmot

Formulace nátěrových hmot zahrnují značné množství složek kombinovaných tak, aby společným působením vedly k co nejlepším charakteristikám nátěru. Jednotlivé komponenty mohou být kapalné, gelovité či tuhé látky, které spolu tvoří výsledný roztok či disperzi. Lze je také rozlišovat na základě těkavosti při běžných podmínkách na netěkavé (filmotvorné látky, pigmenty, barviva, plniva, změkčovadla a další aditiva) a na těkavé (sem řadíme rozpouštědla a ředidla).

#### 2.2.2.1. *Pojidla*

Pod pojmem pojidlo rozumíme roztok či disperzi filmotvorných látek. Těmi mohou být:

- Nevysychavé oleje: i po dlouhodobém zrání nátěru zůstávají lepivé (např. kokosový nebo ricinový olej)
- Polovysychavé oleje: podílejí se na elasticitě filmu tím, že nezasychají úplně (např. sojový nebo bavlníkový olej)
- Vysychavé oleje: chemickou reakcí se vzdušným kyslíkem dochází k vytvoření pevného, ovšem obvykle křehkého filmu (např. tungový nebo talový olej)
- Přírodní pryskyřice
- Syntetické pryskyřice
- Asfalty, smoly: jejich svařováním s vysychavými oleji se získávají základy asfaltových, epoxidehtových s jiných laků
- Zvláčňovací látky: zvyšují elasticitu nátěru a snižují náchylnost ke vzniku trhlin a podobných defektů
- Sušidla: základní surovinou jsou mýdla pryskyřic, oktoáty, naftenáty či oleáty nejčastěji olova, manganu nebo kobaltu. Obsažený kov má katalytické účinky, jimiž urychluje zaschnutí nátěrové hmoty.

Těkavý podíl nátěrové hmoty označujeme buď jako rozpouštědlo, nebo jako ředidlo. Pod pojmem organické rozpouštědlo rozumíme kapalinu, která se používá k rozpuštění látek především organického charakteru. Jejich kombinace je volena tak, aby bylo umožněno nanesení a vytvoření stejnoměrného hladkého filmu bez patrné struktury povrchu. Lze je podle charakteru působení rozdělit na rozpouštědla pravá, vyvolávající rozpouštění přímo filmotvorné látky, a nepravá, která sama o sobě danou látku rozpouštějí špatně nebo vůbec, ovšem v kombinaci s pravým rozpouštědlem jsou schopny ji rozpustit a tím je možno upravit dobu zasychání.

Ředidla se používají k úpravě vlastností nátěrové hmoty těsně před jejím použitím. Na základě různých požadavků především na viskozitu dle různých způsobů aplikace se liší množství přidávaného ředidla.

#### 2.2.2.2. *Pigmenty*

Nerozpustné barevné látky označujeme jako pigmenty. Hlavním požadavkem je obvykle jejich co nejvyšší kryvost (schopnost definovaným způsobem zakrýt kontrastní podklad). Zároveň hrají významnou roli jejich jemnost, chemická stálost a další vlastnosti.

Pigmenty lze rozdělit na:

- Anorganické: například  $\text{TiO}_2$  (rutilová a anatasová forma),  $\text{ZnS}$ ,  $\text{BaSO}_4$  a další
- Organické: komplexní látky pohlcující v určité části viditelného spektra
- Kovové: jemně rozemleté částice kovu se používají pro dosažení efektu metalízy

### 2.2.2.3. Barviva

Další složkou mající vliv na barevný odstín nátěrové hmoty jsou barviva. Tato jsou na rozdíl od pigmentů rozpustná a mohou být použita i do laků k dosažení transparentního, ale barevného filmu.

### 2.2.2.4. Plniva a aditiva

Další látky většinou v podobě jemného prášku sloužící k úpravě vlastností nátěrových hmot jsou označovány jako plniva. Jsou to nerozpustné přísady, jež musejí být dokonale dispergovatelné v prostředí nátěrové hmoty. Mají vliv na zvyšování sušiny, ovlivňují také na hořlavost či korozní odolnost výsledného povlaku. Přísady přidávané v malém množství, ovšem mající významný vliv na tvorbu škraloupů, usazování pigmentů či pěnovost, označujeme pojmem aditiva. Sem řadíme například silikony, karboxymethylcelulózu a další látky.

## 2.2.3 Značení nátěrových hmot

Obecný tvar označení nátěrových hmot je X 0000/0000. Zde X představuje písmenné označení skupiny podle materiálového základu hmoty:

Tabulka 1: Písmenné označování nátěrových hmot

Písmenné značení	Skupina nátěrových hmot
A	Asfaltové
B	Polyesterové
C	Celulózové
E	Práškové
H	Chlorkaučukové
K	Sílikonové
L	Lihové
O	Olejové
S	Syntetické
U	Polyuretanové
V	Vodou „ředitelné“
P	Pomocné přípravky

První čtyřčíslí udává druh nátěrové hmoty. Jejich seznam je uveden v následující tabulce.

Tabulka 2: Číselné označování nátěrových hmot

Kód skupiny	Skupina nátěrových hmot
1000	Lak, napouštědlo, fermež
2000	Pigmentovaná nátěrová hmota
5000	Tmel
6000	Ředidlo
7000	Tužidlo, iniciátor, katalyzátor
8000	Pomocný přípravek

K označení barevného odstínu slouží čtyřčíslí za lomítkem. V současnosti se nejčastěji užívá označení dle ČSN nebo vzorkovnice RAL. První číslice představuje tón barvy, další její sytost.



Obr. 1: Vzorkovnice RAL

Tabulka 3: Označení barevného odstínu nátěrových hmot

Kód	ČSN	RAL
0000 – 0999	Bezbarvé	-
1000 – 1999	Šedé (bílé až černé)	Žluté a okrové
2000 – 2999	Hnědé	Oranžové
3000 – 3999	Fialové	Červené
4000 – 4999	Modré	Fialové
5000 – 5999	Zelené	Modré
6000 – 6999	Žluté a okrové	Zelené
7000 – 7999	Oranžové	Šedé
8000 – 8999	Červené	Hnědé
9000 – 9999	Ostatní (hliníkové)	Bílé a černé

U podkladových a základních barev či tmelů není přesné dodržení odstínu nezbytné. V takovém případě se používá čtyřčíslí začínající nulou, druhá číslice reprezentuje barevný tón podle uvedeného rozdělení a další číslice vyjadřují podobnost s daným odstínem ve vzorkovnici.

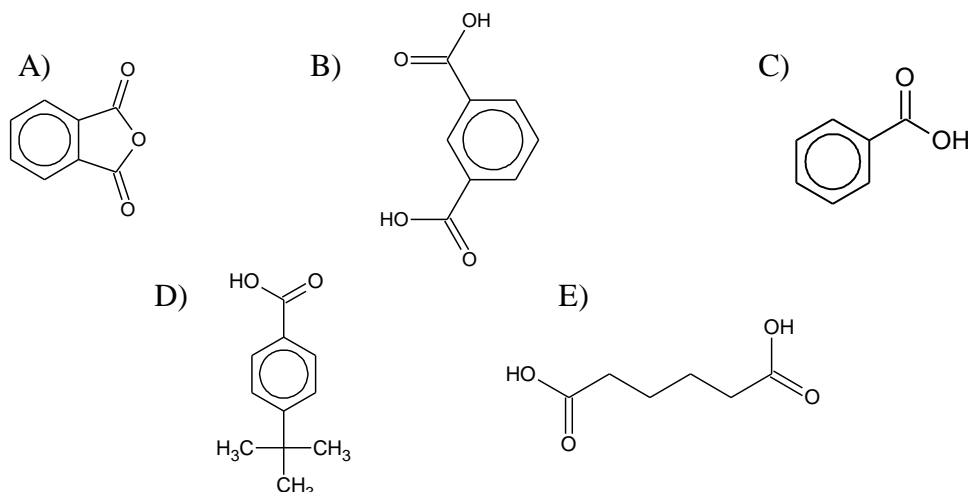
## 2.3 Alkydové nátěrové hmoty

Alkydové pryskyřice [8] jsou syntetické polyesterové pryskyřice vznikající polykondenzační reakcí vícefunkčních mastných kyselin nebo olejů s vícefunkčními alkoholy. Do výroby byly zavedeny po roce 1927 a dodnes tvoří více než polovinu celosvětové produkce syntetických pryskyřic. Název „alkyd“ je odvozen z anglických slov pro jeho výchozí suroviny, a to *alcohol* a *acid*.

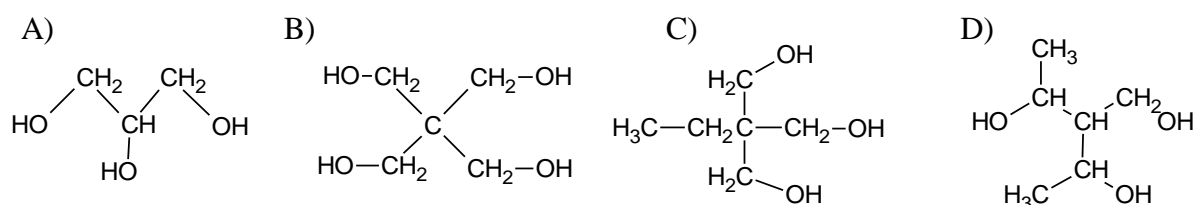
### 2.3.1 Příprava alkydů

Mezi používané [2] monokarboxylové a polykarboxylové kyseliny patří například kyselina ftalová, izoftalová, adipová, benzoová nebo para-terc.butylbenzoová. Z alkoholů jsou to potom například glycerol, pentaerythritol, trimethylpropan či hexantriol. Strukturní vzorce uvedených látek jsou zobrazeny na obrázcích níže.

Za účelem dosažení speciálních vlastností se alkydové pryskyřice modifikují např. pryskyřičnými kyselinami, kyselinou benzoovou, fenolickými pryskyřicemi, aminovými pryskyřicemi, vinyltoluenem, styrenem, izokyanáty, polyamidy, akrylovými, epoxidovými, silikonovými apod. sloučeninami.

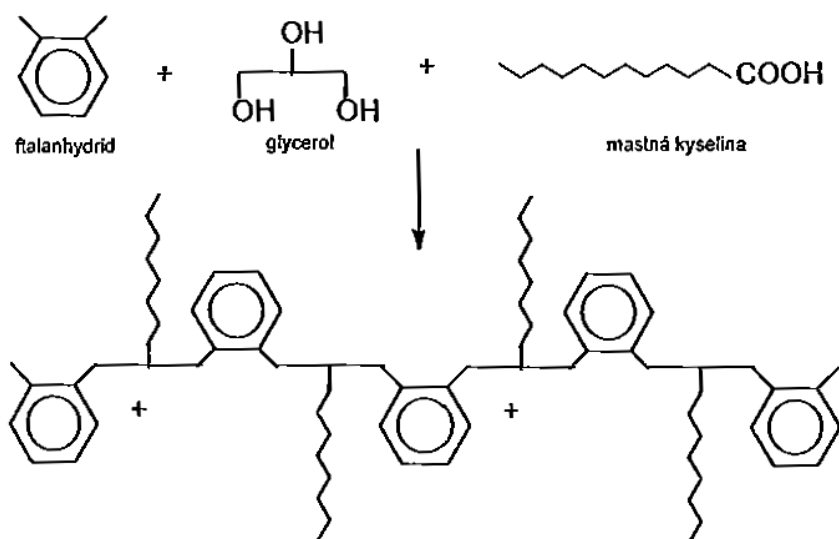


Obr. 2: Některé kyseliny pro přípravu alkydů: A) ftalanhydrid, B) kyselina isoftalová, C) kyselina benzoová, D) kyselina para-terc.butylbenzoová, E) kyselina adipová



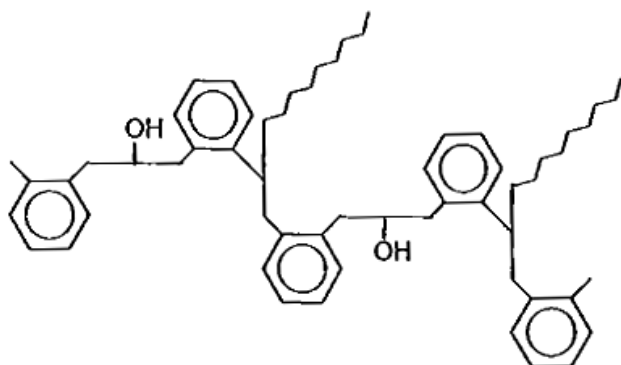
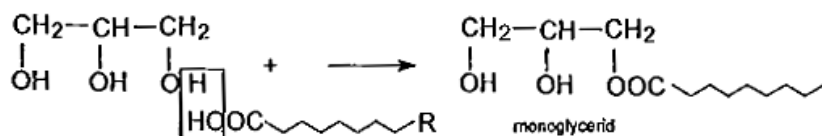
Obr. 3: Některé alkoholy pro přípravu alkydů: A) glycerol, B) pentaerytritol, C) trimethylolpropan, D) hexantriol

Tomu, zda jsou při výrobě použity pouze mastné kyseliny nebo oleje, je nutno přizpůsobit výrobní proces. V jednostupňovém procesu se za zvýšené teploty nechají v předepsaných poměrech reagovat najednou dikarboxylové kyseliny, vícefunkční alkohol a mastné kyseliny tak dlouho, až je dosaženo požadované viskozity a čísla kyselosti produktu. Příkladem takovéto reakce může být použití glycerinu, ftalanhydridu a mastných kyselin v molárních poměrech tak, jak zobrazuje níže uvedené schéma. Takto lze dosáhnout maximálního obsahu žádané složky přibližně 60 %.



Obr. 4: Schéma jednostupňového procesu při výrobě alkydů[2]

Základem dvoustupňového procesu je tzv. monoglyceridová metoda, jejímž prvním pochodem je transesterifikace oleje polyalkoholem (alkoholýza), druhým pochodem pak samotná esterifikace přechodně vzniklého monoglyceridu s anhydridem. Tento postup dává produkt o odlišné struktuře.



Obr. 5: Schéma dvoustupňového procesu při výrobě alkydů[2]

Tabulka 4: Procentuální obsah kyselin ve vybraných přírodních olejích [2]

Karboxylová kyselina	Lněný olej	Sójový olej	Talový olej	Tungový olej
Palmitová $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	6	8	7	4
Linolová $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$	17	55	46	8
Linolenová $\text{C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_2$	51	5	-	-
Eleostearová $\text{C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_2$	-	-	-	82
Olejevá $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$	22	28	46	4
Stearová $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	4	4	-	2

### 2.3.2 Vlastnosti a použití alkydových nátěrových hmot

Alkydové pryskyřice se rozdělují:

a) podle obsahu (hmotnostního zlomku) mastných kyselin nebo olejů

- krátké alkydy méně než 40 %
- střední alkydy 40 až 60 %
- dlouhé alkydy nad 60 %

b) podle druhu mastných kyselin nebo olejů (např. sojový, lněný alkyd)

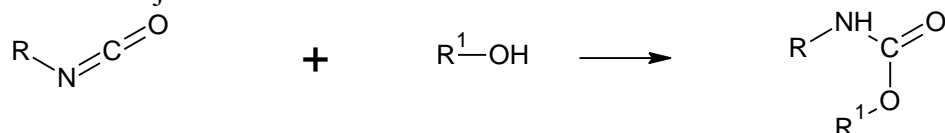
Vlastnosti alkydů závisí především na množství a druhu modifikující složky. Krátké alkydy, jež jsou modifikovány hlavně ricinovým, ricinenovým či kokosovým olejem, se používají pro kombinace s močovinovými či melaminovými pryskyřicemi pro vypalovací nátěrové hmoty.[10] Střední alkydy jsou používány do kombinací s chlorkaučukem nebo cyklokaučukem pro průmyslově používané nátěry schnoucí na vzduchu. Dlouhé alkydy se používají pro nátěry, u nichž je nutná zvýšená odolnost proti povětrnosti. V závislosti na chemické struktuře mají alkydové pryskyřice využití také jako elektroizolační laky. Jsou jednou z nejvýznamnějších syntetických nátěrových hmot, jsou snášlivé s velkým počtem dalších filmotvorných látek. Mají dobrou přilnavost, jsou poměrně odolné povětrnosti, ovšem rozpouštějí se [2] v běžných organických rozpouštědlech.

## 2.4 Polyuretanové nátěrové hmoty

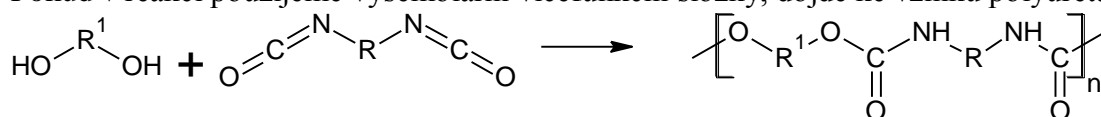
Polyuretany jsou polymerní látky, které vznikají polyadičními reakcemi vícefunkčních izokyanátů s látkami obsahujícími aktivní vodík. Tyto dvě reakční složky jsou pak spojeny uretanovou vazbou. Nejznámější jsou polyuretany vyráběné polyadici hexamethylen-diizokyanátu a 1,4-butylenglykolu. Jsou také technicky nejsnáze dostupné. Střední molární hmotnost lze regulovat úpravou reakčních podmínek, především teploty. [11]

### 2.4.1 Příprava polyuretanů

Při přípravě polyuretanů se vychází z reakce mezi izokyanátovou a hydroxylovou skupinou dle následujícího schématu:

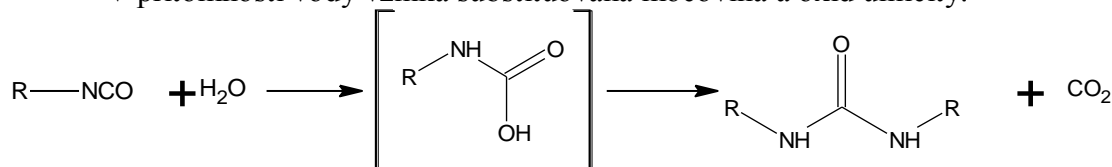


Pokud v reakci použijeme výšemolární vícefunkční složky, dojde ke vzniku polyuretanů:

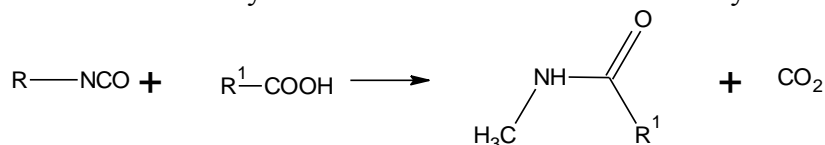


Některé nežádoucích konkurenčních reakcí izokyanátové skupiny

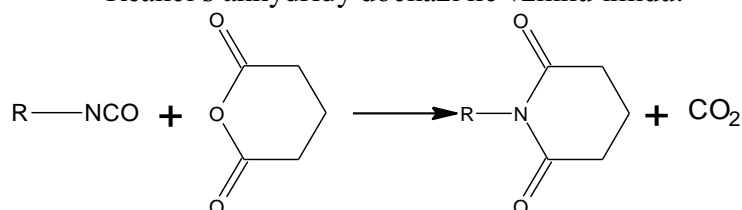
- V přítomnosti vody vzniká substituovaná močovina a oxid uhličitý:



- Reakcí s kyselinami se tvoří substituované amidy a oxid uhličitý:



- Reakcí s anhydridy dochází ke vzniku imidů:



Aby byly tyto reakce omezeny na minimum, jen nezbytně důsledně dodržovat doporučené podmínky aplikace polyuretanových nátěrových hmot.

### 2.4.2 Vlastnosti a použití polyuretanových nátěrových hmot

Nátěry na bázi polyuretanů bývají jednosložkové nebo dvousložkové. Jednosložkové jsou vytvrzovány reakcí se vzdušnou vlhkostí. Dvousložkové nátěrové hmoty se vytvrzují přidáním tužidla, jímž bývá látka s izokyanátovými skupinami. Teprve po smíchání obou složek dochází k chemické reakci a tvorbě zesíťovaného filmu. Výsledkem této reakce je obvykle komplikovaný směsný polyadukt. Asi 70 – 90 % izokyanátových skupin je spotřebováno na tvorbu uretanových vazeb, zbylý podíl poskytuje odlišné produkty.

Základem polyuretanové nátěrové hmoty je pryskyřice obsahující hydroxylové skupiny, pigment a aditiva. S tužidlem se mísí v poměru předepsaném výrobcem pro jednotlivé druhy, přitom je pro získání směsi požadovaných vlastností její důkladné rozmíchání, aby reakce mohla probíhat rovnoměrně v celém objemu a nevznikala centra kazů.

Polyizokyanáty, které slouží i jako základ jednosložkových hmot, lze rozdělit podle chemického charakteru monomerů do dvou skupin:

- Polyizokyanáty, u nichž je reakční skupina vázána na aromatické jádro. Tyto pak tvoří film horších vlastností, žloutnoucí a méně odolný vůči povětrnosti.
- Alifatické izokyanáty, které vedou ke vzniku lesklého filmu odolného působení slunečního záření i povětrnosti.

Druhou složkou dvousložkových nátěrových hmot je roztok látek obsahujících hydroxylové skupiny. Těmi bývají alkydové, polyesterové či polyetherové pryskyřice. Rozvětvení má přímý vliv na tvrdost výsledného filmu – lineární a málo rozvětvené dávají film poměrně pružný a ohebný, hustě rozvětvené poskytují po zesíťování film tvrdý a odolný.

Aromatické dvousložkové polyuretanové systémy jsou používány především v oblasti ochrany dřeva, jako protikorozi nátěry a ve stavebnictví jako nátěry podlahových ploch. Povlaky založené na alifatických polyizokyanátech mají universální použití. Poprvé byly využity i v leteckém průmyslu, kde se uplatnily především díky vysoké odolnosti vůči UV-záření. Zabudováním atomů fluoru do izokyanátové složky lze docílit významného zvýšení teplotní odolnosti.[4] V současnosti jsou polyuretanové nátěry zavedeny v oblasti dopravních prostředků, stejně tak jsou hojně používány na kovy, dřevo, umělé hmoty i textilie [7].

## 2.5 Odolnost polymerů

Některé vybrané polymery vykazují [11] zvýšenou odolnost proti korozi (znehodnocování). Právě díky této jejich vlastnosti jsou používány jako ochranné prostředky.

Korozi polymerů lze definovat jako nežádoucí změny chemického složení (a tím i vlastností), které je vyvolaná vnějšími podmínkami a která vede ke znehodnocení chráněného povrchu. Obecně má na korozi vliv mnoho činitelů, z nichž nejvýznamnější jsou povětrnost (poté mluvíme o stárnutí polymeru/nahrazujeme pojem koroze pojmem stárnutí), chemické složení prostředí, teplota či mikroorganismy. K nežádoucím změnám může také přispět nesprávná aplikace ochranné polymerní vrstvy či mechanické a tepelné namáhání.

Makromolekulární látky se z hlediska chemické reaktivity chovají podobně jako nízkomolekulární analogy podobného chemického složení, odlišný je ovšem průběh reakcí. Významnou roli zde hraje především difuze následkem tlakového či koncentračního gradientu.

### 2.5.1 Odolnost v přírodním prostředí

Mezi degradačními faktory, jimž jsou polymerní materiály vystaveny v přírodním prostředí, mají nejsilnější vliv obsah kyslíku a ozonu v okolí, intenzita a doba působení světelného i ionizačního záření a působení mikroorganismů. Podíl těchto činitelů na znehodnocování polymerů je silně závislý na zeměpisné poloze, roční době, ale i způsobu skladování a používání výrobku. Úhrn všech nežádoucích změn vlastností polymerních materiálů působením přírodního prostředí je často označován jako stárnutí.

Tabulka 5: Odolnost vybraných polymerů vůči povětrnosti (1 – nízká, 2 – střední, 3 – vysoká)

Polymer	Stupeň odolnosti
Nitrocelulóza	1
Polyethylentereftalát	2
Polyuretany*	3
Epoxidové pryskyřice*	2
Polyesterové pryskyřice*	1 – 2
Polyvinylchlorid	1 – 3

\*...odolnost závisí na plnivech



### 2.5.2 Odolnost v chemickém prostředí

Největší vliv na chemickou odolnost polymerů má jejich chemické složení. Tak např. nízká reaktivita nepolárních parafinů běžně známá v organické chemii je charakteristická i pro nepolární makromolekulární látky. Polyethylen nebo polyizobutylen budou tedy látky dosti odolné vůči účinkům neoxidujících kyselin, zásad a solí a i slabých oxidačních činidel.

Odolnost proti kyselinám a zásadám je snížena [1] přítomností hydroxylových, esterových, nitrilových a dalších polárních skupin v řetězci. Naopak obsah halogenů fluoroplastům a chlorovaným polymerům dává vyšší odolnost vůči působení těchto látek.

Vyskytují-li se v řetězci dvojné vazby (např. u polydienů), bude mít polymer sníženou chemickou odolnost, a to zejména vůči oxidačním činidlům.

Heteroatomy (síry, dusíku, kyslíku či jiné), obsažené v makromolekulách polymeru, podléhají snadno hydrolytickým reakcím vlivem zásad a kyselin. Tento efekt se projevuje například u polyamidů, polyesterů, polyuretanů, ale i polysiloxanů. Pokud hydrolytickému štěpení podléhá atom obsažený přímo v hlavním řetězci, dochází k výraznému poklesu molekulové hmotnosti, kdežto hydrolyza atomu postranní skupiny se projeví jen změnou vlastností.

Účinek organických rozpouštědel na polymerní materiály závisí na polaritě polymeru a charakteristikách rozpouštědla. Nepolární polymery (např. polyolefiny, polystyren) botnají či se rozpouštějí v nepolárních rozpouštědlech (benziny, tetrachlormetan). Naopak polymery polární (polyamidy, PVC) jsou vůči nepolárním rozpouštědlům dobře odolné, ovšem podléhají rozpouštědlům polárním (alkoholy, ketony aj.).

Odolnost proti chemickým činidlům obecně také zvyšuje míra uspořádání polymeru do krystalické struktury. Zde bude uplatňovat svůj vliv také teplota.

*Tabulka 6: Odolnost vybraných polymerů v chemickém prostředí (1 – nízká, 2 – střední, 3 – vysoká)*

Polymer	Stupeň odolnosti v prostředí					
	Voda	Roztoky solí	Kyseliny	Zásady	Oxidační činidla	Rozpouštědla
Polyethylentereftalát	3	3	2	1	1	1 – 3
Polyuretany	2	2	1	2	1	1 – 3
Epoxidové pryskyřice	2	2	2	2	1	1 – 3
Polyesterové pryskyřice	2 – 3	3	2 – 3	1	1	1 – 2
Polyvinylchlorid	3	3	2 – 3	2 – 3	1 – 2	1 – 3

### 2.6 Teorie rozpouštění

Účelem rozpouštědla je převést určitou látku do formy vhodné pro použití, tedy ideálně do roztoku. Roztok je definován jako homogenní soustava složená z více čistých látek. Tu, jež je v nadbytku, označujeme jako rozpouštědlo, v ní rozptýlené složky jako rozpouštěné látky. Každá látka schopná rozpustit jinou je pro tuto rozpouštědlem. Nejdostupnějším a nejrozšířenějším rozpouštědlem je voda. Ne každé rozpouštědlo je schopno rozpustit každou látku. Tak většina filmtvorných látek používaných ve výrobě nátěrových hmot jsou organické látky ve vodě obvykle nerozpustné. Organická rozpouštědla v průmyslu nátěrových hmot nacházejí využití jak ve výrobě, tak v přípravě těsně před užitím jako ředidla. Ovšem po nanesení hmoty na povrch je nutné rozpouštědlo odstranit, a to nejčastěji odpařením. Rozpouštědla se také uplatňují při formulacích směsí na odstraňování mastnoty, nečistot či starých nátěrů.

Hlavní vliv na rozpustnost látky v daném rozpouštědle má podobnost mezimolekulových sil, tedy především polaritu a silových interakcí. Elektrostatické síly vyvolávají soudržnost molekul. Je-li soudržnost rozpouštědla větší než rozpouštěné látky, dochází k pronikání rozpouštědla mezi molekuly látky a tedy rozpouštění. Schopnost rozpouštění popisuje parametr rozpustnosti, který souvisí s velikostí molekul, jejich polaritou a schopností tvořit vodíkové můstky, a dielektrická konstanta, jež charakterizuje chování molekul v elektrostatickém poli. Rozpouštědla jsou obvykle dobře mísitelná tehdy, mají-li blízké hodnoty parametru rozpustnosti [16]. Směsi rozpouštědel se chovají jako jedno rozpouštědlo s parametrem rozpustnosti daným váženým průměrem jednotlivých složek.

Tabulka 7: Parametry rozpustnosti vybraných rozpouštědel [16]

Rozpouštědlo	Parametr rozpustnosti	Rozpouštědlo	Parametr rozpustnosti
n-hexan <sup>1)</sup>	7,3	Methylethylketon <sup>2)</sup>	9,3
Terpentýn <sup>1)</sup>	8,1	Dioxan <sup>2)</sup>	9,9
Propylbenzen <sup>1)</sup>	8,6	Aceton <sup>2)</sup>	10,0
Toluen <sup>1)</sup>	8,9	Pyridin <sup>2)</sup>	10,7
Chloroform <sup>1)</sup>	9,3	Kyselina octová <sup>3)</sup>	10,9
Butylacetát <sup>2)</sup>	8,5	Ethanol <sup>3)</sup>	14,2
Propylenglykolethylether acetát <sup>2)</sup>	8,7	Voda <sup>3)</sup>	23,4

<sup>1)</sup>bez vodíkových můstků, <sup>2)</sup>střední podíl vodíkových můstků, <sup>3)</sup>vysoký podíl vodíkových můstků

## 2.7 Rozpouštědla

Mezi nejdůležitější vlastnosti rozpouštědel patří [2] především rozpouštěcí schopnost, těkavost, stabilita, toxicita, hořlavost a barva. Každá z těchto vlastností je ovlivňována více faktory. Např. tlak par, který je sám závislý do značné míry na molekulové hmotnosti, ovlivňuje těkavost, toxicitu i hořlavost. V současné době směřuje trend ke snížení nepříznivých účinků rozpouštědel na životní prostředí. Z tohoto důvodu jsou toxická rozpouštědla nahrazována biologicky nezávadnými (označovanými jako „green“ nebo „eco-friendly“ solventy). Ovšem ve většině případů jsou netoxická rozpouštědla významně slabší než jejich doposud užívané toxické alternativy. Pro rozpouštědlové směsi jsou voleny tedy takové kombinace, aby byla zaručena dostatečná účinnost při nejmenším dopadu na životní prostředí.

### 2.7.1 Dělení rozpouštědel

Dle chemického složení:

- Alifatické uhlovodíky (extrakční benzin, lakový benzin)
- Chlorované uhlovodíky (chlorbenzen, dichlorethan)
- Nitroparafiny (nitropropan, nitroethan)
- Alkoholy (ethanol, butanol)
- Ketony (aceton, cyklohexanon)
- Estery (ethylacetát, butylacetát)
- Glykolethery a jejich acetáty (ethylglykol, propylenglykol diacetát)
- Karbonáty (propylenkarbonát, butylenkarbonát)
- Acetaly (methylal, 1,3-dioxolan)

Dle teploty varu:

- Vysokovroucí: bod varu nad 150 °C
- Středněvroucí: bod varu 100 – 150 °C
- Nízkovroucí: bod varu do 100 °C

Dle bodu vzplanutí [13]:

- Kategorie 1: bod vzplanutí < 23°C, počáteční bod varu ≤ 35°C
- Kategorie 2: bod vzplanutí < 23°C, počáteční bod varu > 35°C
- Kategorie 3: bod vzplanutí ≥ 23°C a ≤ 60°C

Dle odpařivosti (standard: ether = 1):

- Snadno těkavá: číslo odpařivosti < 8
- Středně těkavá: číslo odpařivosti 8 – 15
- Pomalu těkavá: číslo odpařivosti 15 – 50
- Těžce těkavá: číslo odpařivosti > 50

Dle polarity:

- Polární: např. voda, alkoholy, ketony, estery atd.
- Nepolární: např. alifatické uhlovodíky

Dle klasifikace nebezpečnosti podle systému REACH [22]:

- Klasifikovaná jako toxická nebo vysoce toxická (odvívá se od hodnot LD<sub>50</sub>, resp. LC<sub>50</sub>): např. benzen, tetrachlormetan
- Klasifikovaná jako mutagenní/karcinogenní/toxická pro reprodukci: např. solventní nafta, N-methyl-2-pyrrolidon
- Klasifikovaná jako dráždivá: většina rozpouštědel
- Neklasifikovaná jako nebezpečné látky: např. acetal

### **2.7.2 Vybraná organická rozpouštědla**

Vzhledem ke stále širokému rozsahu využití rozpouštědlových nátěrových hmot je objem používaných organických rozpouštědel značný. Pro hmoty na různé bázi je ovšem nutno volit ta nejvhodnější na základě jejich vlastností, které jsou většinou charakteristické pro danou skupinu chemicky příbuzných látek.

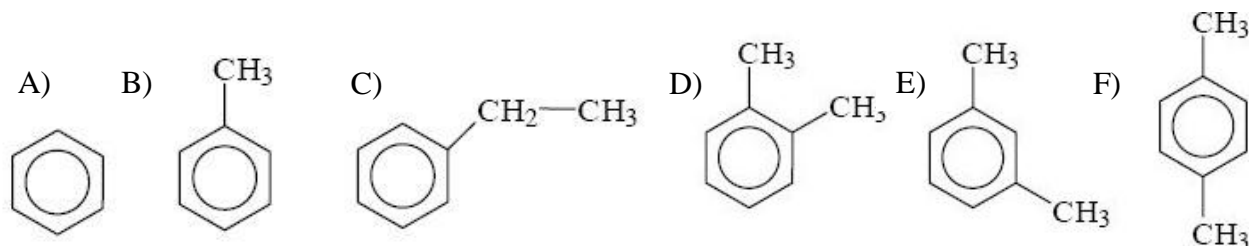
#### **2.7.2.1. Uhlovodíky**

Jak již bylo uvedeno, schopnost rozpouštět určité látky závisí na podobnosti polarity dvojice rozpouštědlo – rozpouštěná látka. Uhlovodíky jakožto nepolární či slabě polární hydrofobní sloučeniny lze využít pro nepolární, resp. slabě polární materiály, jako jsou oleje, tuky, estery celulózy a další, využívají se i jako ředidla do nitrocelulóзовých nátěrových hmot.

Alifatické uhlovodíky jsou takové, v nichž se mezi atomy uhlíku vyskytují pouze jednoduché (nasycené) vazby. Označují se také jako parafiny a mají sumární vzorec C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>. Jejich chemické vlastnosti jsou velmi podobné, u fyzikálních lze vysledovat závislost na molekulové hmotnosti. Nižší uhlovodíky do C<sub>5</sub> jsou za standardních podmínek plyny, do C<sub>16</sub> se jedná o kapaliny s rostoucím bodem varu a vyšší alifatické uhlovodíky jsou pevné látky, u nichž stoupá bod měknutí. Získávají se zpracováním ropy. Do této skupiny spadají např. benzin extrakční, benzín lakový nebo petroleje.

Aromatické uhlovodíky mají vynikající rozpouštěcí schopnosti. Jsou to produkty zpracování lehkého oleje ze suché destilace černouhelného dehtu [9] nebo pyrolýzy ropy. Využívají se jako rozpouštědla pro nátěrové hmoty na základě kondenzovaných pryskyřic (epoxidové,

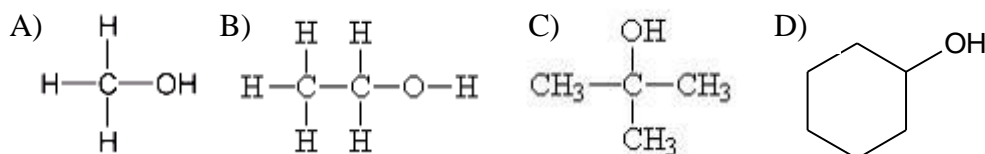
alkydové aj.) a jako ředidla pro ostatní typy. Ze zástupců lze jmenovat například benzen, toluen, xyleny či solventní naftu.



Obr. 6: Vzorce vybraných uhlovodíků: A) benzen, B) toluen, C) ethylbenzen, D) o-xylen, E) m-xylen, F) p-xylen

### 2.7.2.2. Alkoholy

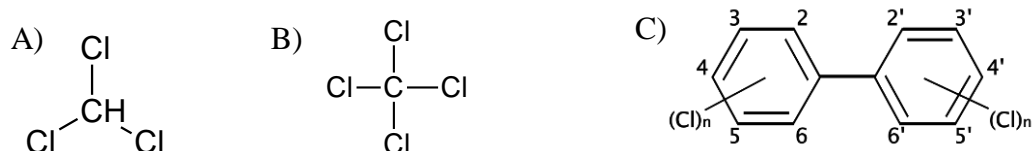
Většina polárních hydrofilních rozpouštědel používaných v průmyslu obecně jsou z pohledu chemie alkoholy. Jsou charakterizovány přítomností hydroxylové skupiny  $-OH$ . Díky této skupině jsou schopny tvořit vodíkové můstky, což má zásadní vliv na jejich vlastnosti. Mají vyšší bod varu, tedy nižší tlak par a i vyšší bod vzplanutí. Jejich rozpouštěcí schopnost je ovšem omezená. Rozpouštějí dobře přírodní pryskyřice, ovšem ne už polymery s vyšší molekulovou hmotností. Ovlivňují významně i viskozitu výsledných směsí. Patří sem např. methanol, ethanol (jenž je pro technické účely denaturován), propanol a isopropanol, cyklické alkoholy.



Obr. 7: Vzorce vybraných alkoholů: A) methanol, B) ethanol, C) isopropanol, D) cyklohexanol

### 2.7.2.3. Chlorovaná rozpouštědla

Výbornými rozpouštědly nepolárních látek jsou chlorované uhlovodíky, které se dříve využívaly ve velkém rozsahu. U jejich nejjednodušších zástupců (chloroform a tetrachlormetan) byl výhodou především jejich nízký bod varu, díky kterému je bylo možno po použití snadno odstranit zahřátím. Ovšem vzhledem ke karcinogennímu působení se od jejich použití upustilo. Z dalších zástupců dříve značně rozšířených rozpouštědel je možno zmínit například polychlorované bifenyly (PCB).

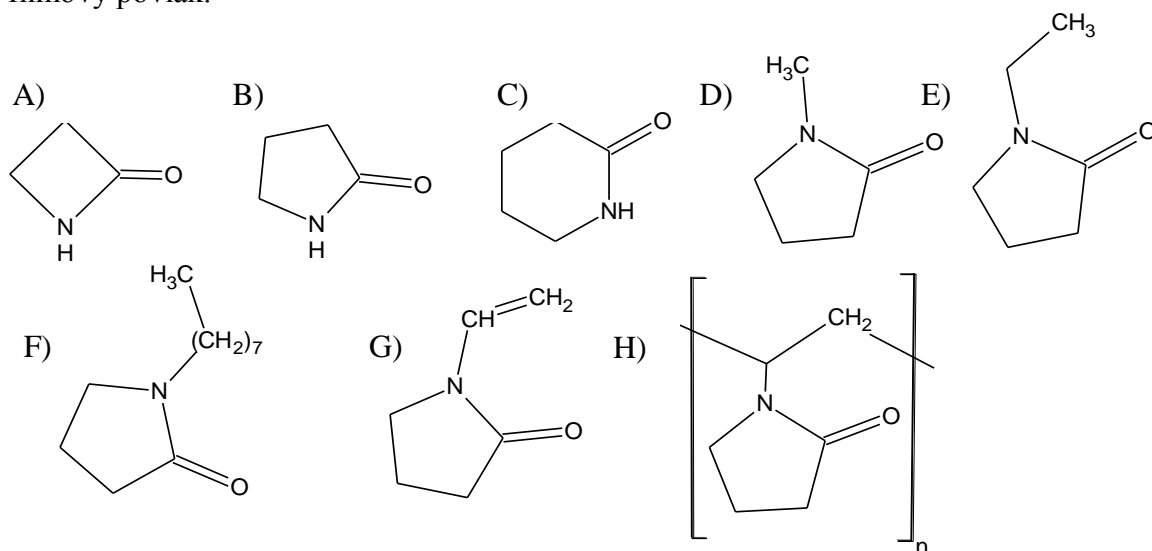


Obr. 8: Vzorce některých chlorovaných uhlovodíků: A) trichlormethan (chloroform), B) tetrachlormetan, C) obecný vzorec PCB

### 2.7.2.4. Laktamy

Laktamy jsou heterocyklické sloučeniny vznikající intramolekulárním uzavřením kruhu u amidů karboxylových kyselin. Počet uhlíků mimo karbonylovou skupinu je vyjádřen předponou písmene řecké abecedy ( $\beta$  pro dva uhlíky,  $\gamma$  pro tři uhlíky atd.). Jejich vlastnosti

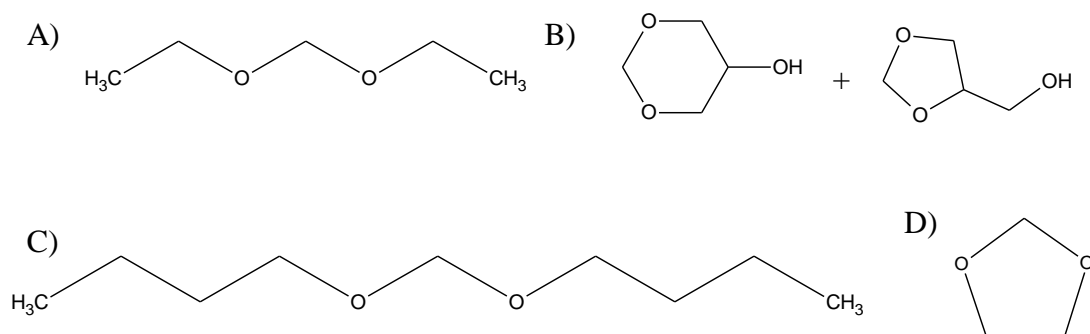
značně závisí na délce a charakteru substituentů vázaných na atom dusíku. Tak například N-methyl-2-pyrrolidon je značně agresivním kapalným rozpouštědlem, ovšem polyvinylpyrrolidon je silně hygroskopická tuhá látka, která je schopna snadno vytvářet filmový povlak.



Obr. 9: Vzorce vybraných laktamů: A)  $\beta$ -laktam, B)  $\gamma$ -laktam, C)  $\delta$ -laktam, D) N-methyl-2-pyrrolidon, E) N-ethyl-2-pyrrolidon, F) N-oktyl-2-pyrrolidon, G) N-vinylpyrrolidon, H) Polyvinylpyrrolidon

#### 2.7.2.5. Acetaly

Acetaly [2] jsou lineární nebo cyklické sloučeniny s nízkou viskozitou, vysokou rozpouštěcí schopností, stabilní v širokém rozsahu pH. Vznikají kyselé katalyzovanou reakcí aldehydů nebo ketonů s alkoholy. Vyznačují se nízkou toxicitou a ekologickou nezávadností. Díky tomu nacházejí uplatnění v kosmetice, farmakochémii, průmyslu nátěrových hmot i aerosolech. Patří sem např. ethylal, butylal, 1,3-dioxolan či glycerolfomal (směs 5-hydroxy-1,3-dioxanu a 4-hydroxymethyl-1,3-dioxolanu, 60:40)

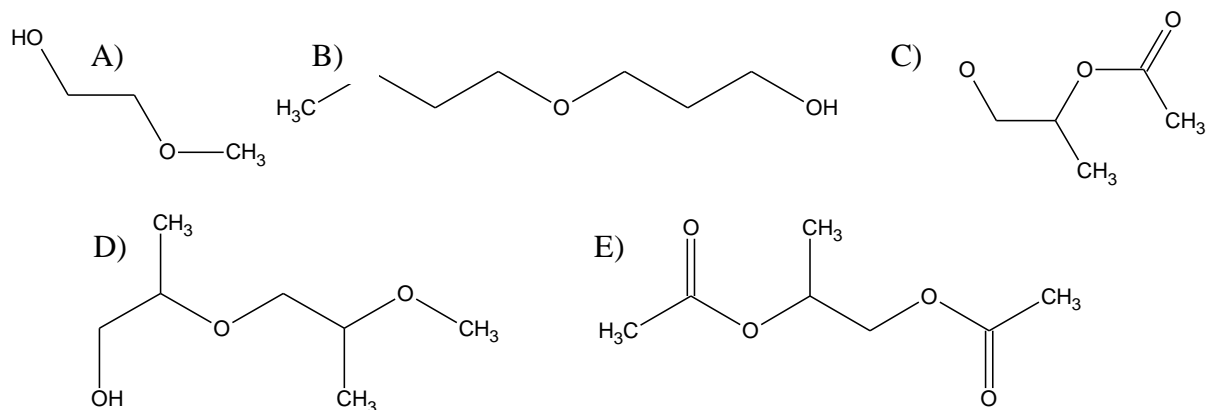


Obr. 10: Vzorce vybraných acetalů: A) ethylal, B) glycerolfomal, C) butylal, D) 1,3-dioxolan

#### 2.7.2.6. Glykolethery a jejich acetáty

Jsou odvozeny od glykolů, tedy od alkoholů obsahujících dvě hydroxylové skupiny. Jsou to bezbarvé, vysoce viskózní kapaliny středně silného zápachu [2], mísitelné s většinou kapalin. Aktivně rozpouštějí estery celulózy, pryskyřic a olejů. Snášejí dobře velký přídavek nepravých rozpouštědel a vody. Člení se na glykolethery s krátkým řetězcem na bázi etylenoxidu, delším řetězcem na bázi ethylenoxidu a delším řetězcem na bázi propylenoxidu. Poslední jmenované jsou netoxické. Patří mezi ně například ethylglykol, butylglykol,

propylenglykolmethylether acetát, dipropylenglykolmethylether (Dowanol DPM) nebo propylenglykol diacetát.



Obr. 11: Vzorce vybraných glykoletherů: A) ethylglykol, B) butylglykol, C) propylenglykol methylether acetát, D) dipropylenglykol ethylether, E) propylenglykol diacetát

## 2.8 Způsoby odstraňování nátěrů

S pokrokem v oblasti technologií nátěrů je stále důležitější také otázka jejich odstraňování. Například pod kvalitní elektrostaticky nanesený povlak práškové hmoty je vyžadován absolutně čistý povrch. V dalších oblastech průmyslu je nutné nátěry odstraňovat pro zachování požadovaných charakteristik celého objektu. Příkladem mohou být dopravní prostředky, především letadla, z nichž je před nanesením nového nátěru naprosto nezbytné starý nátěr odstranit, aby nedocházelo ke zvyšování celkové hmotnosti stroje.

Obecně se dají metody odstraňování nátěrů rozdělit [19] do následujících třech skupin:

- Chemické: využívají korozivní látky, rozpouštědla a jejich kombinace
- Pyrolytické: k narušení až odstranění povlaku dochází působení vysoké teploty (např. vysokotepelné pece či otevřený plamen)
- Mechanické: povlak je odstraněn tokem abrazivního media nebo opracováním povrchu (např. vysokotlaké tryskání, broušení)

### 2.8.1 Chemické odstraňování

Přípravky používané k odstranění starých nátěrů fungují na principu změkčování a rozpouštění filmu a narušování soudržných sil mezi povlakem a podkladem. Uvolněný rozrušený povlak je následně mechanicky odstraněn. Chemické odstraňovače je možno rozdělit na dvě hlavní skupiny podle teploty, při níž účinkují. Druhou, používanější variantou je dělení podle chemické podstaty. Látky korozivní, především kyseliny nebo zásady, většinou vyžadují zvýšenou teplotu, zatímco rozpouštědla účinkují dobře i při běžných podmínkách.

V praxi se značně rozšířilo použití chemicky odolných povlaků, je tedy nutné používat agresivnější činidla. Oproti tomu se zpřísňuje legislativa ošetřující podmínky na pracovišti a dopad používaných látek na životní prostředí. Je tedy nezbytné hledat kompromisy mezi účinností a ekotoxikologickými vlastnostmi látek.

### 2.8.2 Pyrolytické odstraňování

Nejčastěji používanými postupy pyrolytického odstraňování nátěrů jsou působení otevřeného plamene, využití vysokotepelných pecí, fluidního lože, nebo lázní tavenin solí. Teplota se při těchto operacích pohybuje obvykle okolo 400°C. Výhodou je kompletní a rychlé odstranění nátěru, ovšem za cenu velké spotřeby energie a možného poškození

samotného výrobku. Další nevýhodou mohou být vznikající zplodiny, které jsou v mnoha případech toxické.

### 2.8.3 Mechanické odstraňování

Tradiční a široce používanou metodou je mechanické odstraňování povlaků. Mimo broušení, škrábání (ať už ručního nebo přístrojového) se uplatňuje též vysokotlaké tryskání abrazivních medií v proudu vzduchu nebo vody. Tato metoda často doplňuje ostatní postupy pro kompletní očištění a pasivaci povrchu. Nevýhodou opět může být poškození podkladu.

Nedá se říci, že je některá z uvedených metod nejlepší a univerzální. Vždy je nutno brát v potaz vlastnosti ošetřovaného povrchu, jako jsou jeho velikost, mechanická i chemická odolnost. Stejně tak je nutno metodu přizpůsobit nátěru, který chceme odstranit. Významnou roli hrají samozřejmě provozní náklady a zdravotní a ekologická nezávadnost použitých látek.

## 2.9 Statistické vyhodnocování

### 2.9.1 Výběrový průměr

Výběrový průměr  $\bar{x}$  je statistická veličina charakterizující v jistém smyslu soubor více hodnot. Jeho použití má význam, jsou-li si hodnoty blízké, tedy pokud data nejsou zešíklá. V opačném případě by bylo vhodné k vyjádření typické hodnoty použít medián. [23] Výběrový průměr se vypočítá dle následující rovnice, kde  $x_i$  je výsledek jednotlivého stanovení a  $n$  je počet stanovení.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)}{n}$$

Rovnice 1: Výběrový průměr.

### 2.9.2 Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka  $\sigma$  vyjadřuje míru variability. Představuje průměr kvadrátů odchylek hodnot znaku od jejich průměru. Určí se dle vztahu:

Rovnice 2: Směrodatná odchylka.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

### 2.9.3 Interval spolehlivosti

Interval spolehlivosti představuje jiné vyjádření míry variability. Úroveň (hladina) spolehlivosti  $\alpha$  vyjadřuje očekávaný podíl intervalů, které budou obsahovat danou charakteristiku, pokud provedeme velký počet výběrů. [23] Úroveň spolehlivosti se vyjadřuje jako  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$ . Konfidenční interval se určí z následujícího vztahu:

$$\bar{x} - t_{\alpha(n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\alpha(n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Rovnice 3: interval spolehlivosti

### 3. PRAKTICKÁ ČÁST

Teoretické poznatky z oblasti polyuretanových a alkydových nátěrových hmot a rozpouštědel byly využity k vypracování praktické části bakalářské práce. Ta byla zaměřena na zhotovení konkrétních nátěrů a zkoušení jejich odolnosti proti vybraným derivátům pyrrolidonu. U zhotovených nátěrů byly provedeny zkoušky tloušťky, tvrdosti, barevného odstínu a přilnavosti.

#### 3.1 Příprava podkladového materiálu

Zkušební nátěry obou emailů byly provedeny na sklech o rozměrech 100 mm x 200 mm x 3 mm. Ta byla před nanášením důkladně očištěna a odmaštěna ethanolem. Křídový papír matný o gramáži 150 g/m<sup>2</sup> byl také očištěn od případných nečistot a vyrovnán zatížením.

#### 3.2 Zhotovování zkušebních nátěrů

Nátěrové hmoty byly nanášeny pomocí nanášecího pravítka. Ta mohou mít různou konstrukci. Nejčastější je podoba válce umístěného mezi dvěma hranoly tak, že pod válcem při položení pravítka zůstává štěrbina definované velikosti. Tato velikost pak bývá uvedena na boční straně hranolů pravítka. Důležité je pravidelné čištění nanášecího pravítka, neboť jakékoli nečistoty se mohou projevit na vytvářeném povlaku ať už rýhováním, nebo změnou tloušťky povlaku.

V této práci bylo použito čtyřboké nanášecí pravítko (aplikátor) značky Baker s označením VF1502, přičemž byla využita štěrbina s označením 90, která odpovídá tloušťce aplikovaného nátěru 150 μm v souladu s normou ASTM D 3022.

Pro vytvoření povlaku je pravítko položeno na rovný, čistý povrch. Před něj je nalito cca 5 ml nátěrové hmoty. Pravítko je poté taženo pokud možno konstantní rychlostí přibližně 5 cm/s až do vynesení povlaku požadované délky. Je nutno dbát na to, aby nátěrová hmota nepronikla pod boční hranoly natahovacího pravítka.

Tloušťka mokrého nátěru závisí na viskozitě nátěrové hmoty a je vždy o něco menší, než je výška štěrby pravítka. Suchá tloušťka je pak závislá na obsahu netěkavých složek.



Obr. 12: Nanášecí pravítko

#### 3.3 Použité nátěrové hmoty

Pro práci byly použity nátěrové hmoty finské firmy Tikkurila, a to vždy ve dvou odstínech pro každý typ.



### 3.3.1 Nátěrová hmota na bázi alkydových pryskyřic

Používá se jako jednokomponentní lesklý email v alkydových systémech především na ocelové povrchy. Výrobce uvádí výbornou stálost lesku a barevného odstínu při vystavení povětrnostnímu namáhání.

Tabulka 8: Parametry použitého alkydového emailu

Název	Temalac FD 80
Odstín	RAL 9003, RAL 5002
Vzhled	Lesk
Ředidlo	1006 nebo 1053
Doba zasychání (23 °C): proti prachu	15 min
na dotek	90 min
přetíratelný	6 dní
Obsah netěkavých složek	45 ± 2 % obj., resp. 62 ± 2 % hm.
Hustota	1,0 – 1,2 kg/l (dle odstínu)
VOC (obsah těkavých organických látek)	470 ± 30 g/l

### 3.3.2 Nátěrová hmota na bázi polyuretanových pryskyřic

Zvolená dvoukomponentní nátěrová hmota slouží podle údajů výrobce jako pololesklý jednovrstvý nátěr nebo vrchní email v alkydových systémech. Obsahuje antikorozi pigmenty a je vhodná především na kovové povrchy.

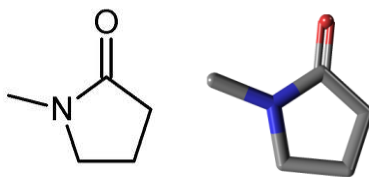
Tabulka 9: Parametry použitého polyuretanového emailu

Název	Temadur SC 80
Odstín	RAL 1013, RAL 5015
Vzhled	Pololesk
Ředidlo	1048 nebo 1067
Tužidlo	008 7640
Poměr tužení (základ:tužidlo)	5:1
Doba zpracovatelnosti	3 hod
Doba zasychání (23 °C): proti prachu	50 min
na dotek	6 hod
přetíratelný	Bez omezení
Obsah netěkavých složek	65 ± 2 % obj., resp. 80 ± 2 % hm.
Hustota	1,4 ± 0,1 kg/l (směs)
VOC (obsah těkavých organických látek)	320 g/l

### 3.4 Rozpouštědla – použité deriváty

V práci byly použity deriváty N-pyrrolidonu firmy BASF odvozené náhradou vodíku vázaného na atom dusíku methylovou, ethylovou, resp. oktylovou skupinou. Použité deriváty se liší mimo svého působení, které bylo předmětem studia, také klasifikací nebezpečných vlastností a ekotoxikologickým vlivem.

### 3.4.1 N-methyl-2-pyrrolidon

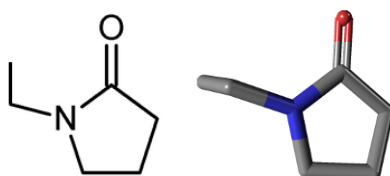


Jedná se o laktam kyseliny 4-methylaminobutyrové. N-methyl-2-pyrrolidon (dále i NMP) [14] neboli (dle IUPAC) 1-methylpyrrolidin-2-on je chemicky stálá bezbarvá kapalina. Použití nachází ve formulaci vysokosušinných nátěrových hmot. U nich zajišťuje vysokou homogenitu a neporéznost. Vzhledem ke svým rozpouštěcím schopnostem vůči plastům, pryskyřicím, olejům a mastnotě je NMP uplatňován jako ingredience do odstraňovačů nátěrů, odmašťovacích a čistících směsí. Může být použit samostatně nebo ve směsi pro odstranění ropných uhlíkatých depozitů a dalších polymerních residuí.

Tabulka 10: Vlastnosti NMP

<b>Vzorec</b>	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO	<b>Viskozita (20 °C)</b>	1,7 mPa.s
<b>Molární hmotnost</b>	99,131 g/mol	<b>Tlak par (20 °C)</b>	0,32 mbar
<b>CAS</b>	872-50-4	<b>Hustota (20 °C)</b>	1,028 g/cm <sup>3</sup>
<b>EC</b>	212-828-1	<b>Povrchové napětí (25°C)</b>	0,041 N/m
<b>Indexové číslo</b>	606-021-00-7	<b>Nebezpečnost</b>	Reprotoxický, dráždivý
<b>Bod tání</b>	- 23,6 °C	<b>Bod vzplanutí</b>	91,0 °C
<b>Bod varu</b>	204,3 °C	<b>Bod vznícení</b>	270 °C

### 3.4.2 N-ethyl-2-pyrrolidon

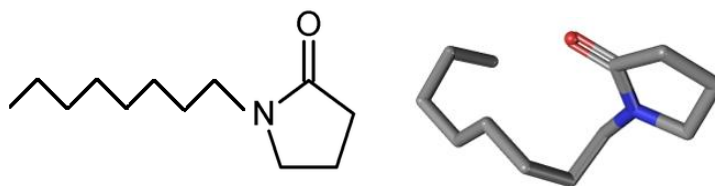


N-methyl-2-pyrrolidon (dále i NEP) je bezbarvá až nažloutlá kapalina nepříjemného zápachu. Zatím se příliš v oblasti povrchových úprav nepoužívá, ovšem vzhledem k tomu, že nebyl klasifikován jako toxický, lze očekávat snahu o rozšíření jeho aplikací. Nevýhodou mohou být vyšší výrobní náklady. Je mísitelný s vodou a rozpustný v prakticky všech organických rozpouštědlech.

Tabulka 11: Vlastnosti NEP

<b>Vzorec</b>	C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> NO	<b>Viskozita (20 °C)</b>	2,3 mPa.s
<b>Molární hmotnost</b>	113,158 g/mol	<b>Tlak par (20 °C)</b>	< 1 mbar
<b>CAS</b>	2687-91-4	<b>Hustota (20 °C)</b>	0,997 g/cm <sup>3</sup>
<b>EC</b>	220-250-6	<b>Povrchové napětí (25°C)</b>	N/A
<b>Indexové číslo</b>	-	<b>Nebezpečnost</b>	Dráždivý
<b>Bod tání</b>	< - 75 °C	<b>Bod vzplanutí</b>	90,5 °C
<b>Bod varu</b>	212 °C	<b>Bod vznícení</b>	245 °C

### 3.4.3 N-oktyl-2-pyrrolidon



Jde o bezbarvou až mírně nažloutlou viskózní kapalinu. Výhodou N-oktyl-2-pyrrolidonu (dále i NOP) je velmi nízká odpařivost, vysoký bod vzplanutí (tedy potažmo hořlavost), ovšem je klasifikován jako látka žíravá a nebezpečná pro životní prostředí. Jeho samostatné použití tedy plně nekoresponduje se snahou o omezení nepříznivých dopadů rozpouštědel. Jeho fyzikálně-chemické vlastnosti je možné ovšem s výhodou využít při formulaci rozpouštědlových směsí.

Tabulka 12: Vlastnosti NOP

<b>Vzorec</b>	C <sub>12</sub> H <sub>23</sub> NO	<b>Viskozita (20 °C)</b>	8 mPa.s
<b>Molární hmotnost</b>	197,317 g/mol	<b>Tlak par (20 °C)</b>	< 1 mbar
<b>CAS</b>	2687-94-7	<b>Hustota (20 °C)</b>	0,92 g/cm <sup>3</sup>
<b>EC</b>	403-700-8	<b>Povrchové napětí (25°C)</b>	N/A
<b>Indexové číslo</b>	-	<b>Nebezpečnost</b>	Dráždivý, nebezpečný pro životní prostředí
<b>Bod tání</b>	- 26 °C	<b>Bod vzplanutí</b>	142 °C
<b>Bod varu</b>	306 °C	<b>Bod vznícení</b>	225 °C

## 3.5 Hodnocení nátěrů

Připravené nátěry byly vyhodnoceny po stránce vzhledu a mechanických vlastností v souladu s ČSN níže uvedenou metodikou.

### 3.5.1 Hodnocení vzhledu

#### 3.5.1.1 Lesk

Lesk je jednou z optických vlastností povrchu tuhých látek. Představuje schopnost odrazet dopadající světlo. Čím větší je podíl pravidelného přímého odrazu, tím se povrch jeví lesklejší. Naopak u povrchů matných převládá difuzní rozptyl. Jasnost lesklých povrchů je významně závislá na blízkosti úhlu pohledu vůči úhlu dopadajícího světla, matné povrchy se jeví rovnoměrně jasné při jakémkoli směru pozorování.

Změny lesku po působení rozpouštědel byly hodnoceny vizuálně.[3] Byla sledována ostrost zrcadlení různých předmětů. Hodnocení bylo prováděno při nepřímém slunečním světle ze vzdálenosti přibližně 30 cm a pod úhlem asi 45°. Stupnice lesku byla zvolena následující:

- Stupeň 1: povlak zrcadlově lesklý – obraz je dokonale ostrý
- Stupeň 2: povlak lesklý – obraz je značně ostrý, ovšem především ve stíněných částech nedokonale
- Stupeň 3: povlak pololesklý (s hedvábným leskem) – obraz patrný, na okrajích však neostrý
- Stupeň 4: povlak polomatiný – je patrný jen hrubý obrys předmětu
- Stupeň 5: povlak matný – obraz předmětu nelze na povrchu rozeznat

### 3.5.1.2. Barevný odstín

Barevný odstín nátěrové hmoty, potažmo vytvořeného nátěru, je určen především obsaženými pigmenty a barvivy. Vliv mohou mít i ostatní přísady. Významnou roli hraje také prostředí, v němž se nátěr nachází. Tak například dlouhodobé vystavování slunečnímu záření může vyvolat změnu barvy, většinou do odstínu žluté až hnědé.

Hodnocení barevného odstínu a jeho změny bylo prováděno přístrojem ColorCatch 2. S přístrojem bylo zacházeno dle pokynů švýcarského výrobce Colorix. Zjištěné údaje byly konfrontovány s údaji výrobce nátěrových hmot pro počáteční stav a s vizuálním hodnocením dle stupnice RAL.



Obr. 13: Kolorimetr ColorCatch 2

### 3.5.2 Tloušťka nátěru

Značný vliv na odolnost povlaků má tloušťka vrstvy povlaku. Tento údaj je tedy nezbytný pro možnosti správného vyhodnocení ostatních výsledků. Ve chvíli nanesení se tloušťka nátěru označuje jako „mokrý“. Při zasychání, resp. vytvrzování nátěru unikají těkavé složky do okolí a tloušťka se zmenšuje. Je tedy určena především obsahem netěkavých složek.

Pro měření byl použit magnetický tloušťkoměr Elcometer 456 firmy Elcometer s digitálním displejem. Bylo postupováno dle návodu výrobce. Vlastní měření probíhalo na nátěrech nanesených na křídový papír. Nejprve byla změřena tloušťka papíru, poté celková tloušťka včetně nátěru. Z těchto hodnot byla určena tloušťka samotného nátěru.



Obr. 14: Tloušťkoměr Elcometer 456

### 3.5.3 Přílnavost nátěru

Míra, jakou má nátěr tendenci přilnout k povrchu, je dána nejen druhem a jakostí nátěrové hmoty, ale i podkladovým materiálem. Přílnavost byla stanovena mřížkovou metodou podle ČSN EN ISO 2409. Zkouška má být prováděna při teplotě  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $(50 \pm 5) \%$ . V obou směrech výsledné mřížky musí být šest řezů. Jejich vzdálenost musí být stejná a je dána tloušťkou povlaku a typem podkladu dle tabulky uvedené níže.

Tabulka 13: Určení vzdálenosti řezů při mřížkové metodě

Tloušťka nátěru [ $\mu\text{m}$ ]	Vzdálenost řezů [mm]	Druh podkladu
0 – 60	1	Tvrdý
0 – 60	2	Měkký
61 – 120	2	Tvrdý i měkký
121 – 250	3	Tvrdý i měkký

Mřížku je nutno vytvořit na alespoň třech různých místech testovaného vzorku. Ten je umístěn na pevný, rovný povrch tak, aby nemohlo v průběhu zkoušky dojít k jeho deformaci. Řez je prováděn ručně, přičemž je řezný nástroj držen ostřím kolmo na povrch a tažením po povrchu stálým tlakem dojde k vytvoření rovnoběžných řezů. Postup je opakován ve směru kolmém na již provedené řezy. Tímto dojde k vytvoření mřížky. Mřížka je poté přelepena samolepící páskou rovnoběžně s jedním ze směrů řezů a to v takové délce, aby páska překrývala mřížku alespoň o 20 mm. Lepicí pásku je následně nutno uhladit. Poté je rovnoměrným tahem odstraněna pod úhlem  $60^\circ$  za dobu 0,5 s až 1 s. Výsledek je vyhodnocen podle tabulky.

Pro měření byl použit řezný nástroj Elcometer 107. Rozrušení bylo pozorováno pod lupou.

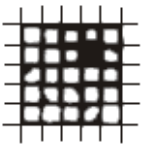
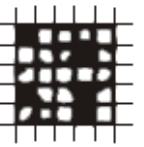


Obr. 15: Sada k provedení mřížkové metody zkoušení přilnavosti nátěru

Tabulka 14: Kritéria hodnocení výsledků mřížkové zkoušky[15]

Povrch	Popis porušení	Klasifikace ISO
	Hrany řezů jsou zcela hladké, žádný ze čtverců není poškozen	0
	Malé kousky povlaku jsou odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5 %.	1
	Povlak je odloupnut podél řezů nebo v místech jejich křížení, poškození na 5 – 15 % povrchu.	2
	Povlak je odloupnut v částečně nebo zcela souvislých pásech podél řezů a/nebo ve velkých kusech v libovolném místě. Poškození 15 – 35 % povrchu.	3

Tabulka 14: Kritéria hodnocení výsledků mřížkové zkoušky – pokračování

		Povlak je odloupnut v souvislých pásech podél řezů a/nebo ve velkých kusech na více místech. Poškození 35 – 65 % povrchu.	4
		Poškození větší než popsatelné kategorií 4.	5

### 3.5.4 Tvrdost nátěru

Odolnost proti mechanickému poškození je dána druhem a kvalitou nátěrové hmoty, podmínkami při zasychání, resp. vytvrzování povlaku, jeho tloušťkou i stářím.

Tvrdost testovaných nátěrů byla stanovena dle ČSN 673075, a to sadou tužek Koh-i-noor Hardtmuth. Metoda hodnotí schopnost nátěru odolávat vtlačení hrotu tužky určité tvrdosti do povrchu nátěrového filmu. Tužka je vsazena do speciálního držáku, který zajišťuje úhel vůči podkladu 30° a stálý tlak tužky odpovídající 300 g. Postupuje se od nejměkčí tužky po nejtvrďší. Měkké tužky na povlaku zanechávají pouze stopu tuhy, kterou je možno setřít rukou. Zkouška je ukončena okamžikem, kdy tužka zanechá povrch viditelně poškozený, tedy když dojde k vrypu.

Tabulka 15: tvrdost tužek pro zkoušku tvrdosti nátěru

Číslo tužky	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tvrdost	3B	2B	B	HB	F	H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H



Obr. 16: Držák s tužkou pro měření tvrdosti nátěru

## 4. VÝSLEDKY A DISKUZE

U připravených povlaků nátěrových hmot byly provedeny zkoušky tloušťky, tvrdosti, barevného odstínu a přilnavosti metodikou uvedenou v předchozí části. Zjištěné výsledky byly zpracovány. Tam, kde byl naměřen větší počet dat, byly při vyhodnocování uplatněny statistické postupy. Výsledky zkoušek byly diskutovány vzhledem k teoretickým předpokladům.

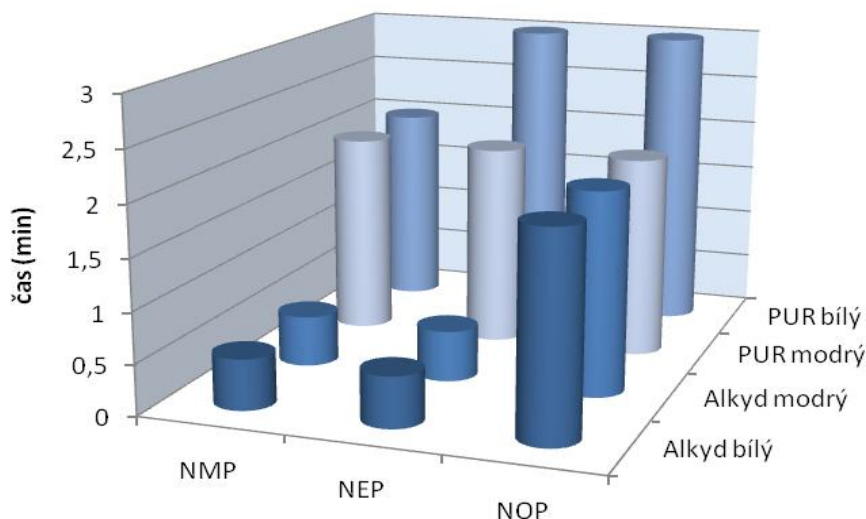
### 4.1 Výsledky hodnocení vzhledu

#### 4.1.1 Výsledky hodnocení změny lesku

Lesk byl zjišťován po působení vybraných derivátů pyrrolidonu v určených časových intervalech a porovnán s výchozím stavem pro každý typ a odstín nátěrů.

Tabulka 16: Změna lesku

Nátěrová hmota	Stupeň lesku			
	Výchozí stav	Po 2 min působení NMP/NEP/NOP	Po 4 min působení NMP/NEP/NOP	Po 10 min působení NMP/NEP/NOP
Alkyd bílý	Lesk	destrukce	destrukce	destrukce
Alkyd modrý	Pololesk až lesk	destrukce	destrukce	destrukce
PUR bílý	Pololesk	Polomat/polomat/pololesk	Mat/mat/polomat	destrukce/destrukce/polomat
PUR modrý	Pololesk	Polomat/polomat/pololesk	Mat/mat/polomat	destrukce/destrukce/polomat



Graf 1: Nevratná ztráta lesku

U povlaku zhotoveného z alkydové nátěrové hmoty odstínu RAL 5002 byl lesk zjištěn vizuálním hodnocením o něco nižší, než uváděla specifikace výrobce již před působením rozpouštědel. Vzhledem k velmi krátkému času, po němž u alkydových povlaků nastala kompletní degradace, byla změna lesku hodnocena pouze u nátěrů polyuretanových. Graf zachycuje dobu, po níž došlo k nevratné ztrátě lesku.

#### 4.1.2 Výsledky hodnocení barevného odstínu

Hodnoty zjištěné přístrojem ColorCatch 2 ve výchozím stavu nátěrů korespondovaly s údaji výrobce. Působící rozpouštědla vyvolala pozorovatelnou změnu barevného odstínu, která ovšem byla mimo rozlišovací možnosti použité stupnice RAL.

Tabulka 17: Výsledky ověřování barevného odstínu povlaků

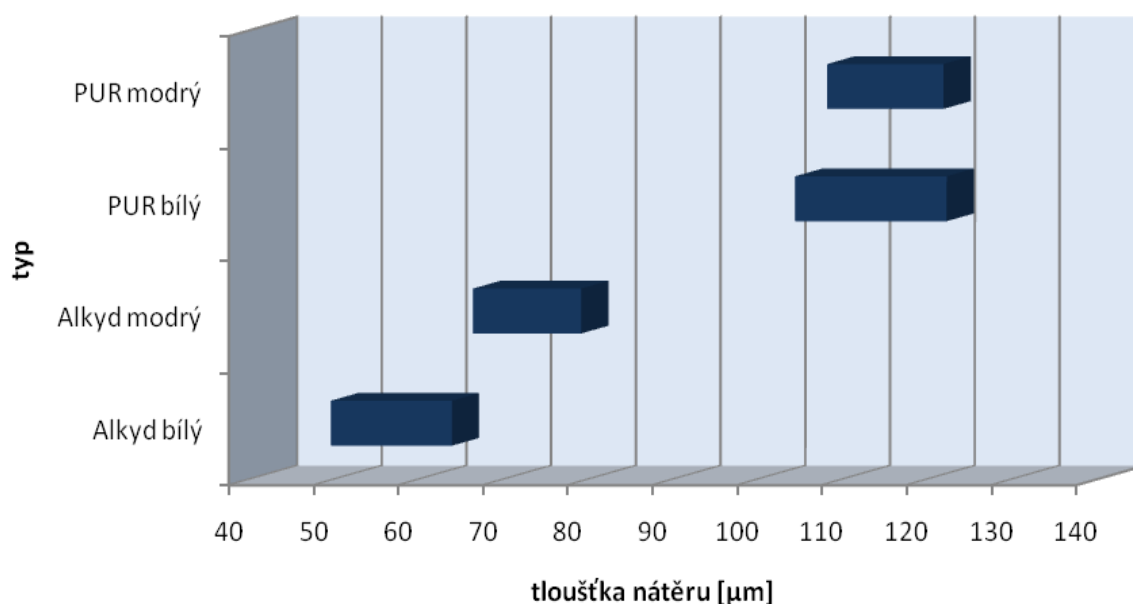
Nátěrová hmota	Alkyd bílý	Alkyd modrý	PUR bílý	PUR modrý
Odstín RAL	1013	5015	9003	5002

#### 4.2 Výsledky měření tloušťky suchého povlaku

Tloušťka povlaků byla měřena vždy na šesti místech. Ze zjištěných hodnot byl vypočítán aritmetický průměr, určena směrodatná odchylka a interval spolehlivosti na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Tabulka 18: Výsledky měření tloušťky zhotovených nátěrů

Nátěrová hmota	Průměrná tloušťka [ $\mu\text{m}$ ]	Směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	Interval spolehlivosti [ $\mu\text{m}$ ]
Alkyd bílý	57	10	(50 – 64)
Alkyd modrý	73	9	(66 – 79)
PUR bílý	113	13	(104 – 123)
PUR modrý	115	10	(108 – 122)



Graf 2: Intervaly spolehlivosti tloušťky nátěrů

#### 4.3 Výsledky hodnocení přilnavosti povlaku

Na vyzrálých nátěrech byla provedena zkouška přilnavosti mřížkovou metodou. Zkouška byla provedena na třech místech povlaku. Její výsledky jsou uvedeny v tabulce níže, přičemž vycházejí ze stupnice hodnocení uvedené v oddílu 3.5.3.



Tabulka 19: Výsledky zkoušky přilnavosti zhotovených nátěrů

Nátěrová hmota	Stupeň porušení
Alkyd bílý	2
Alkyd modrý	2
PUR bílý	1
PUR modrý	0

Vzhledem k tomu, že použité alkydové nátěrové hmoty nejsou primárně určeny k použití na sklo, není nedokonalá přilnavost příliš překvapující. Vysoká přilnavost se projevila u polyuretanových nátěrů obou odstínů.

#### 4.4 Výsledky hodnocení tvrdosti nátěru

Bylo provedeno stanovení tvrdosti nátěru tužkami. Výsledky jsou shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 20: Výsledky zkoušky tvrdosti zhotovených nátěrů

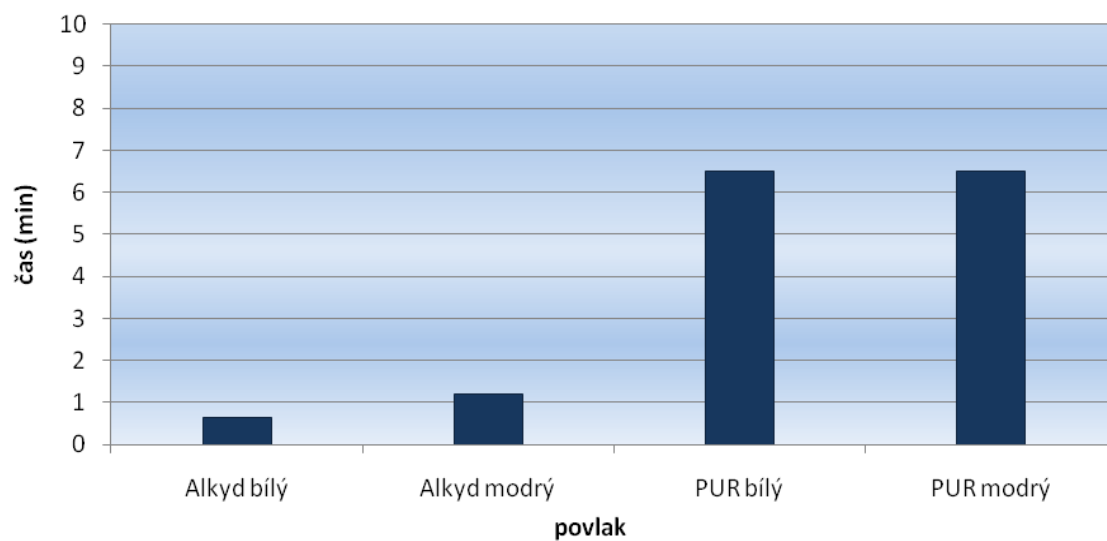
Nátěrová hmota	Stupeň tvrdosti
Alkyd bílý	2
Alkyd modrý	4
PUR bílý	7
PUR modrý	7

#### 4.5 Výsledky zkoušek chemické odolnosti

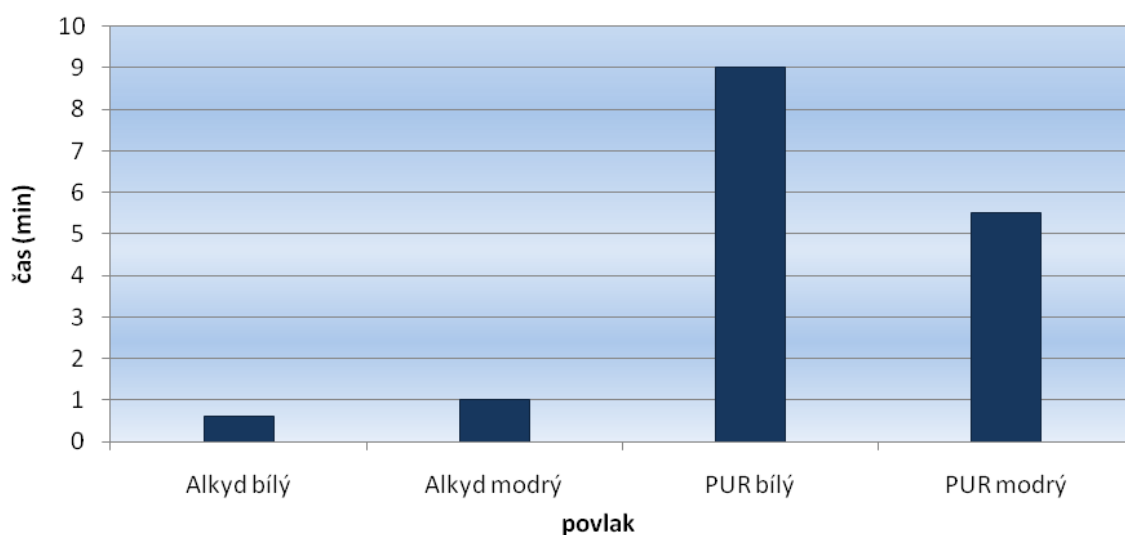
Byla provedena kapková zkouška, kdy bylo na nátěr mikrobyretou naneseno 0,05 ml daného derivátu a byla stereomikroskopem Olympus SZ61 při různých zvětšeních sledována doba, po jaké dojde k rozrušení povlaku.

Tabulka 21: Čas prvního rozrušení nátěrů působením vybraných rozpouštědel

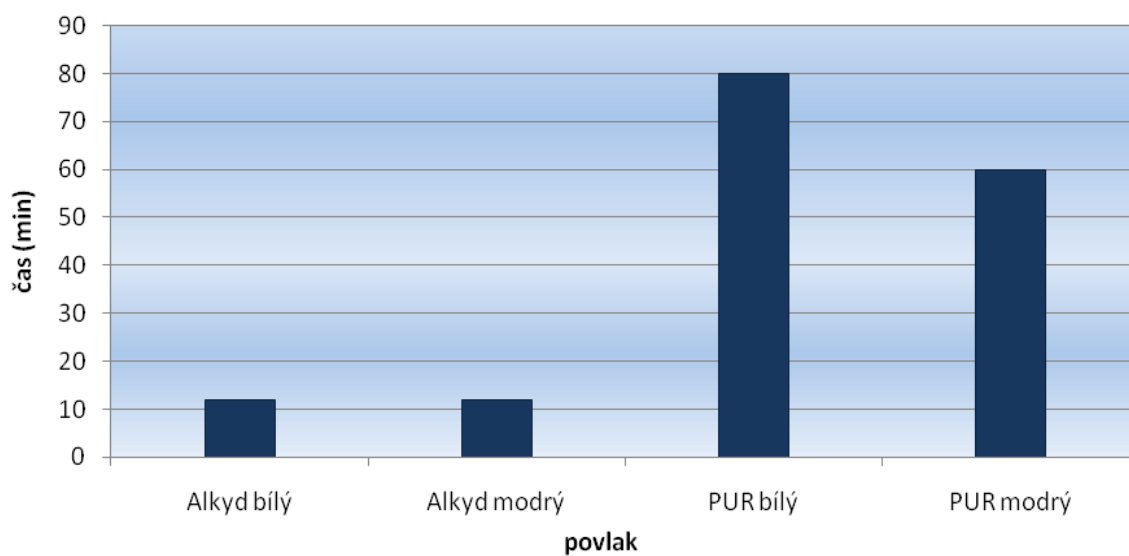
Nátěrová hmota	Rozrušení (min)		
	NMP	NEP	NOP
Alkyd bílý	0,65	0,6	12
Alkyd modrý	1,2	1	12
PUR bílý	6,5	9	80
PUR modrý	6,5	5,5	60



Graf 3: Stanovený čas prvního rozrušení povlaku působením NMP



Graf 4: Stanovený čas prvního rozrušení povlaku působením NEP



Graf 5: Stanovený čas prvního rozrušení povlaku působením NOP

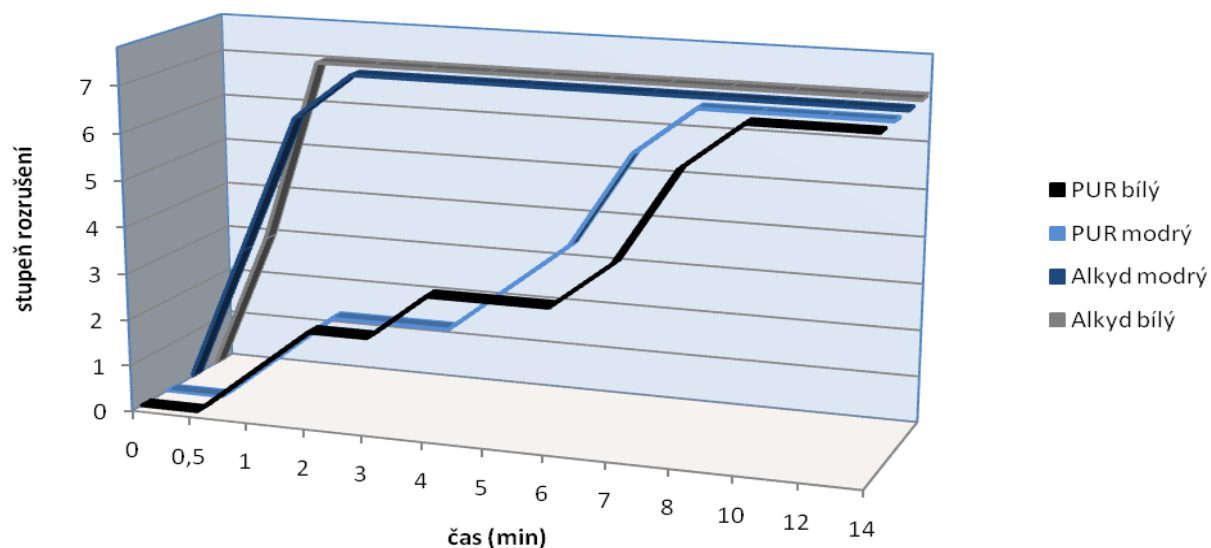
U nátěrů byla zjišťována míra poškození v závislosti na době působení jednotlivých derivátů. Stupnice poškození byla sestavena následovně:

Tabulka 22: Stupnice poškození nátěru působením rozpouštědel

Popis	Stupeň poškození
Beze změn	0
Botnání	1
Mírná změna lesku	2
Ztráta lesku	3
Poškození do 5 %	4
Poškození do 25 %	5
Poškození do 50 %	6
Kompletní rozrušení	7

Tabulka 23: Stanovení míry poškození nátěru vlivem NMP v závislosti na čase

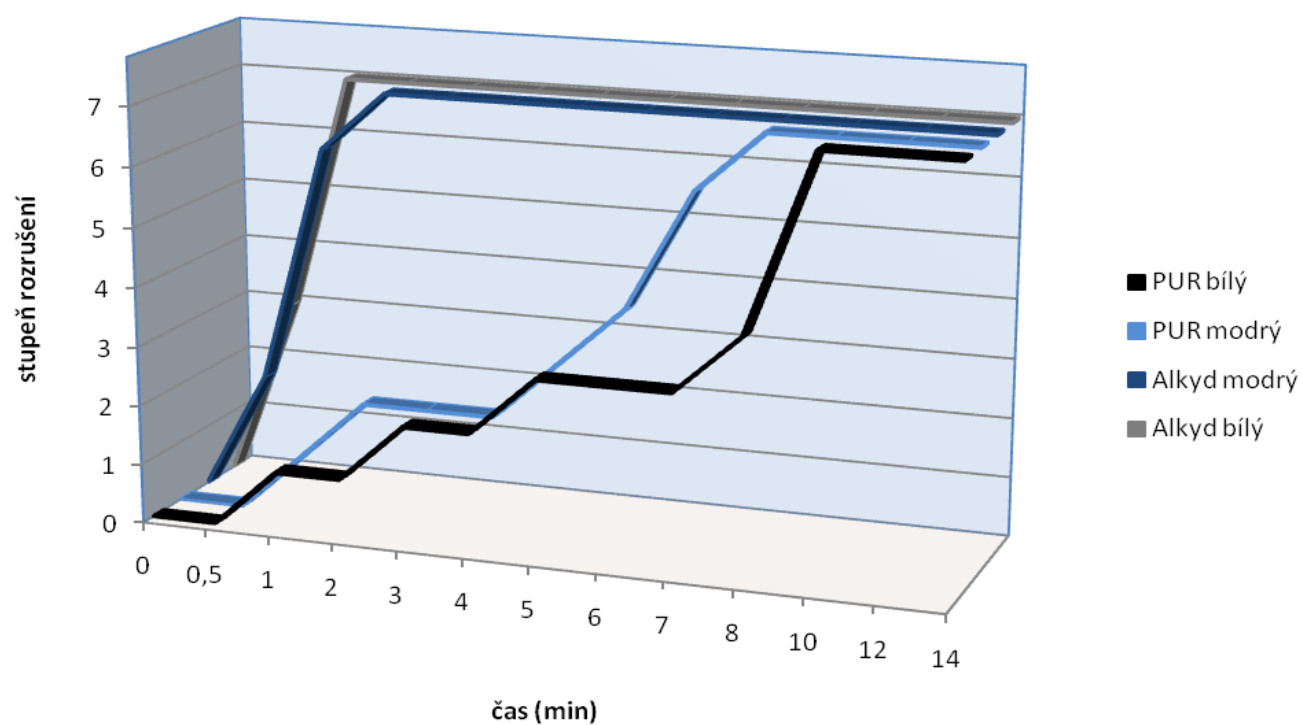
Čas (min)	stupeň rozrušení			
	Alkyd bílý	Alkyd modrý	PUR bílý	PUR modrý
0	0	0	0	0
0,5	3	3	0	0
1	7	6	1	1
2	7	7	2	2
3	7	7	2	2
4	7	7	3	2
5	7	7	3	3
6	7	7	3	4
7	7	7	4	6
8	7	7	6	7
10	7	7	7	7
12	7	7	7	7
14	7	7	7	7



Graf 6: Stupeň rozrušení působením NMP v závislosti na čase

Tabulka 24: : Stanovení míry poškození nátěru vlivem NEP v závislosti na čase

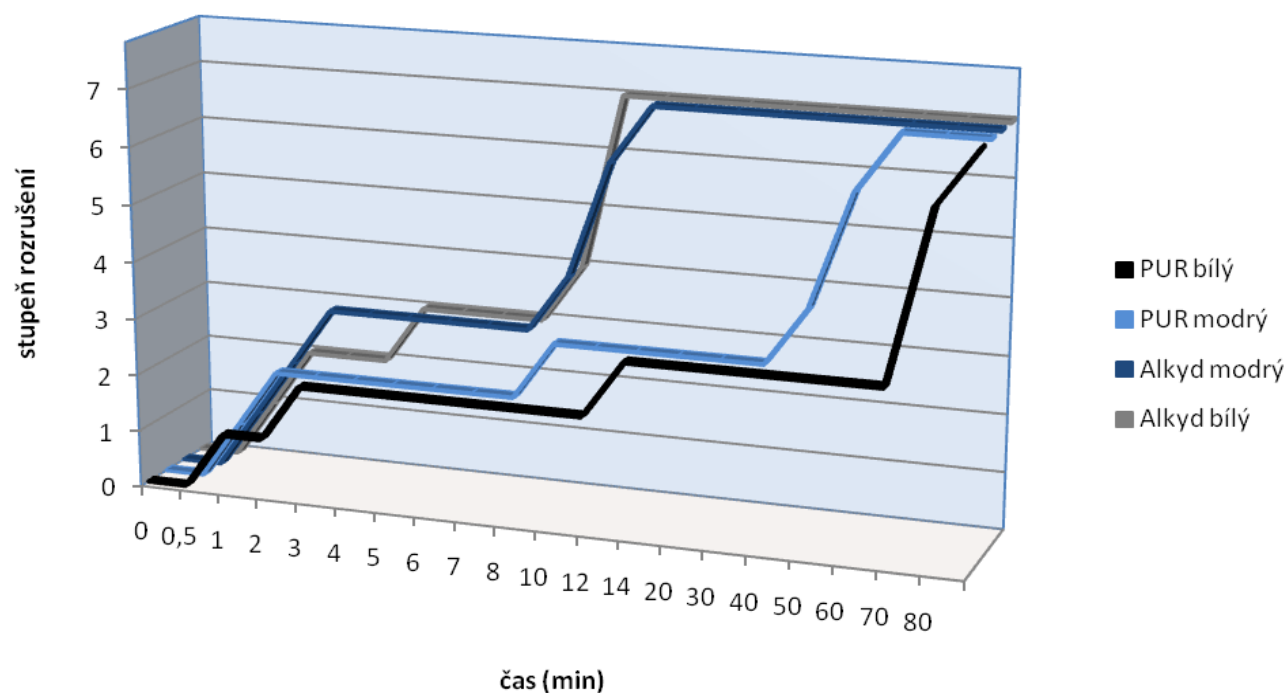
Čas (min)	stupeň rozrušení			
	Alkyd bílý	Alkyd modrý	PUR bílý	PUR modrý
0	0	0	0	0
0,5	3	2	0	0
1	7	6	1	1
2	7	7	1	2
3	7	7	2	2
4	7	7	2	2
5	7	7	3	3
6	7	7	3	4
7	7	7	3	6
8	7	7	4	7
10	7	7	7	7
12	7	7	7	7
14	7	7	7	7



Graf 7: Stupeň rozrušení působením NEP v závislosti na čase

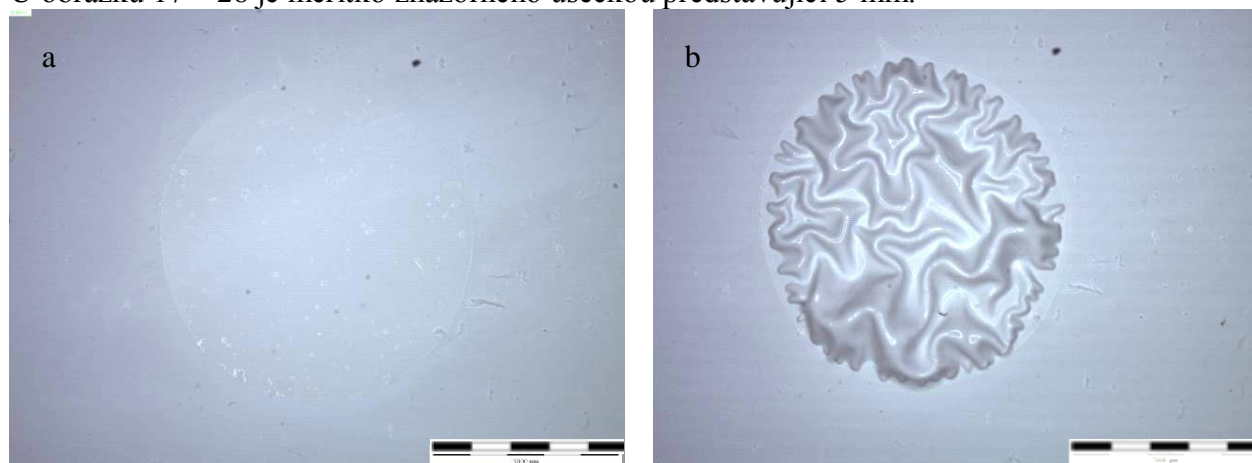
Tabulka 25: : Stanovení míry poškození nátěru vlivem NOP v závislosti na čase

Čas (min)	stupeň rozrušení			
	Alkyd modrý	PUR bílý	PUR modrý	Alkyd modrý
0	0	0	0	0
0,5	0	0	0	0
1	1	1	1	1
2	2	2	1	2
3	2	3	2	2
4	2	3	2	2
5	3	3	2	2
6	3	3	2	2
7	3	3	2	2
8	3	3	2	2
10	4	4	2	3
12	7	6	2	3
14	7	7	3	3
20	7	7	3	3
30	7	7	3	3
40	7	7	3	3
50	7	7	3	4
60	7	7	3	6
70	7	7	3	7
80	7	7	6	7
90	7	7	7	7

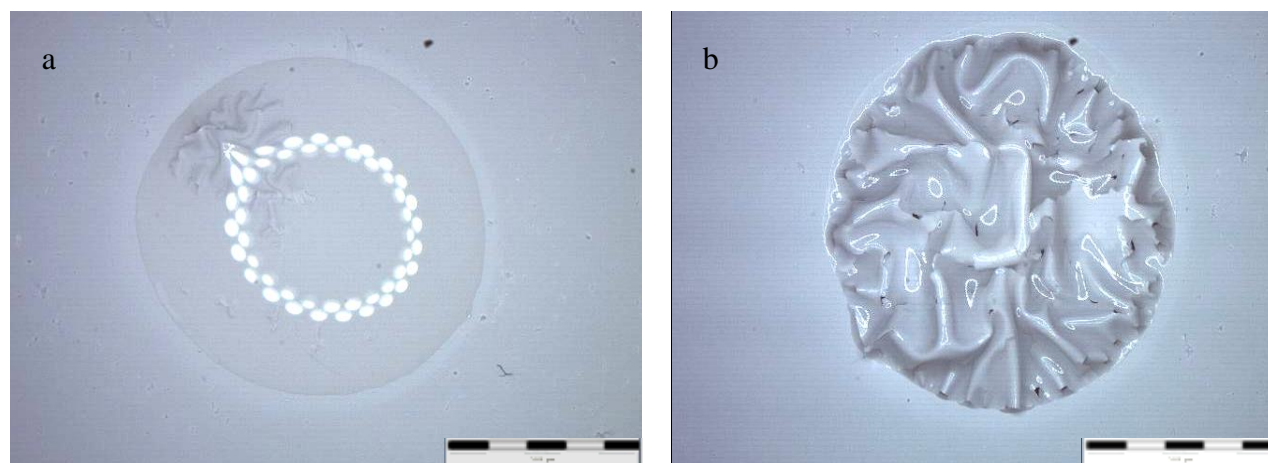


Graf 8: Stupeň rozrušení působením NOP v závislosti na čase

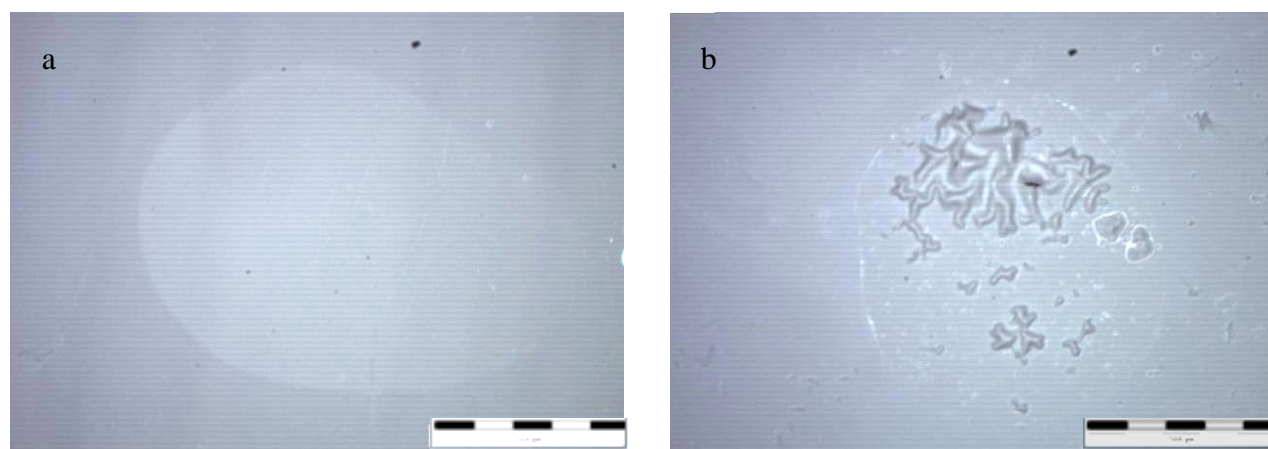
Následující část obsahuje fotodokumentaci provedených zkoušek chemické odolnosti. U obrázků 17 – 26 je měřítko znázorněno úsečkou představující 5 mm.



*Obr. 17: Fotografie poškození alkydového nátěru (odstín bílý) působením NMP v čase:  
a – 0,5 min, b – 1 min*

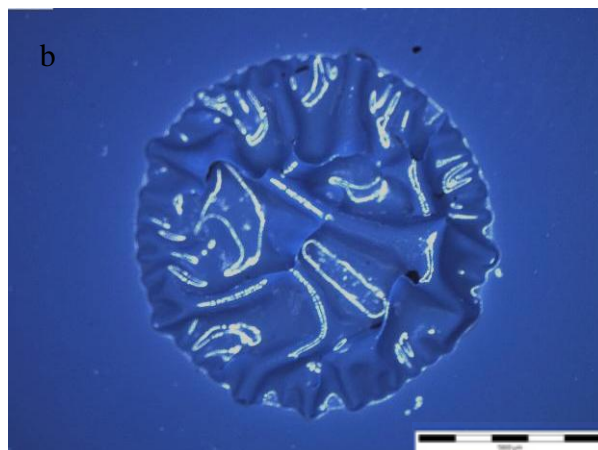
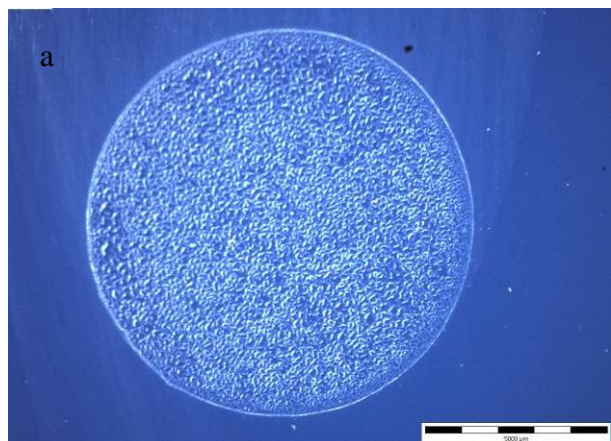


*Obr. 18: Fotografie poškození alkydového nátěru (odstín bílý) působením NEP v čase:  
a – 0,5 min, b – 1 min*

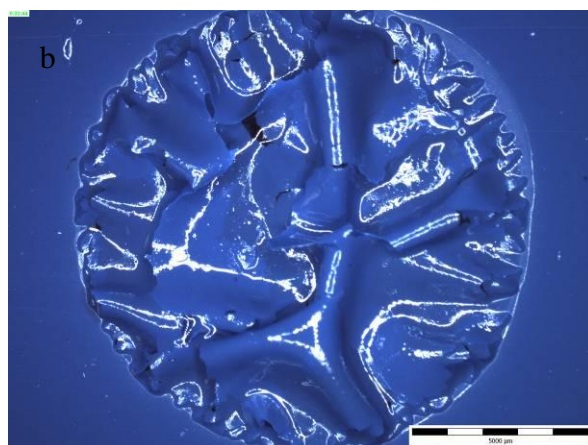
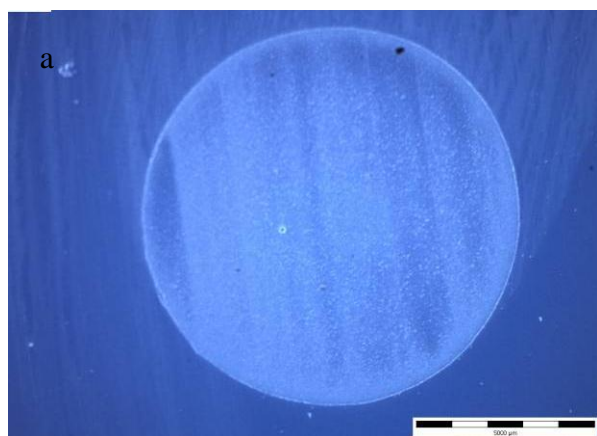


*Obr. 19: Fotografie poškození alkydového nátěru (odstín bílý) působením NOP v čase:  
a – 2 min, b – 10 min*

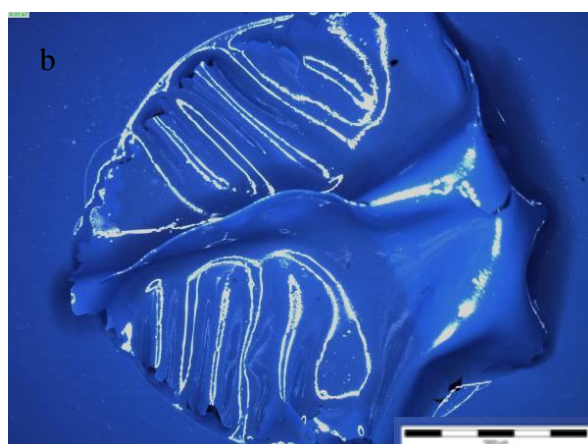




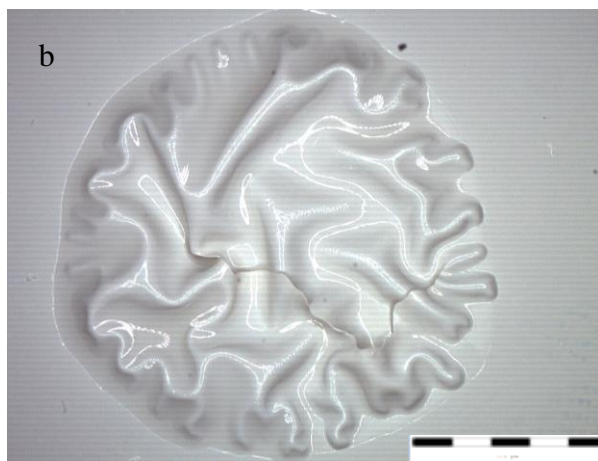
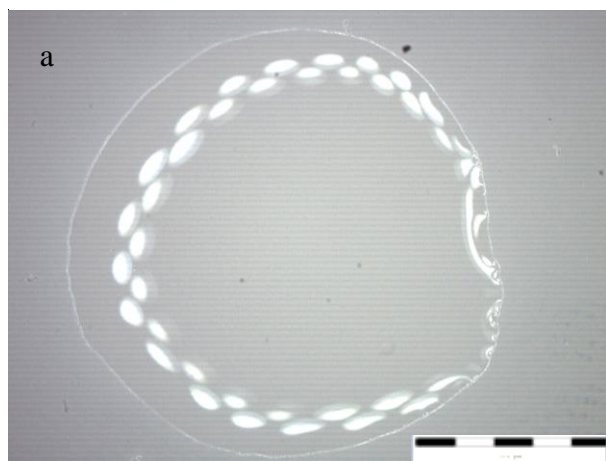
Obr. 20: Fotografie poškození alkydového nátěru (odstín modrý) působením NMP v čase:  
a – 0,5 min, b – 1 min



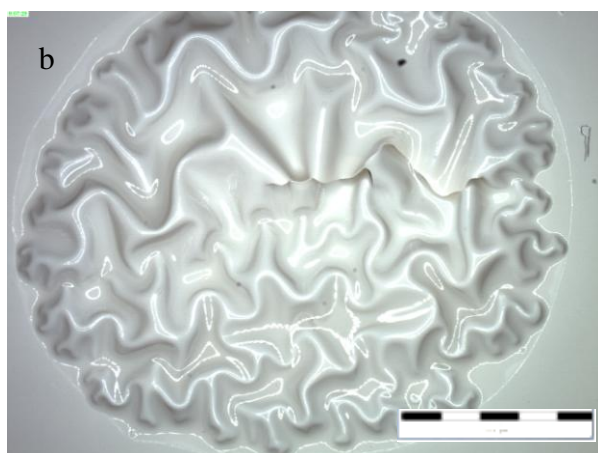
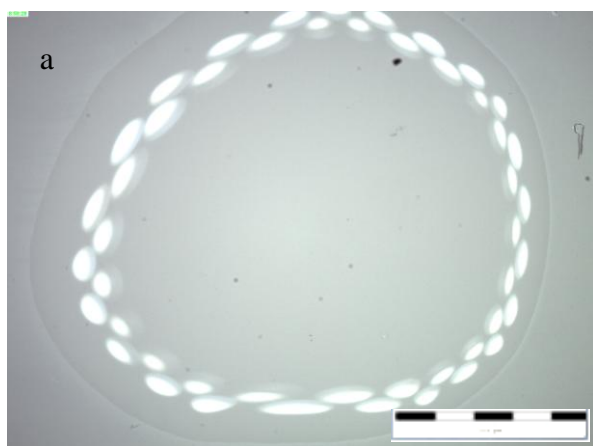
Obr. 21: Fotografie poškození alkydového nátěru (odstín modrý) působením NEP v čase:  
a – 0,5 min, b – 1 min



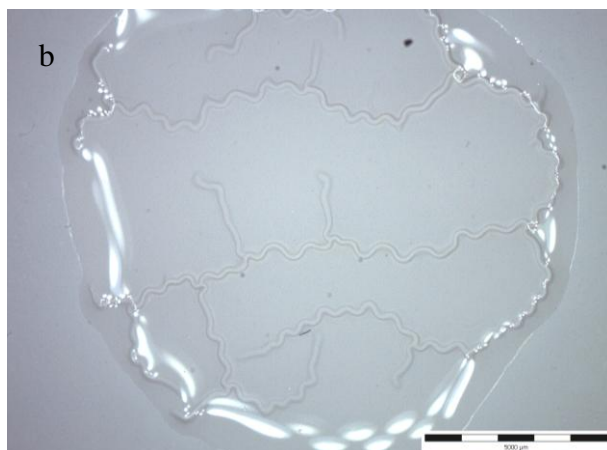
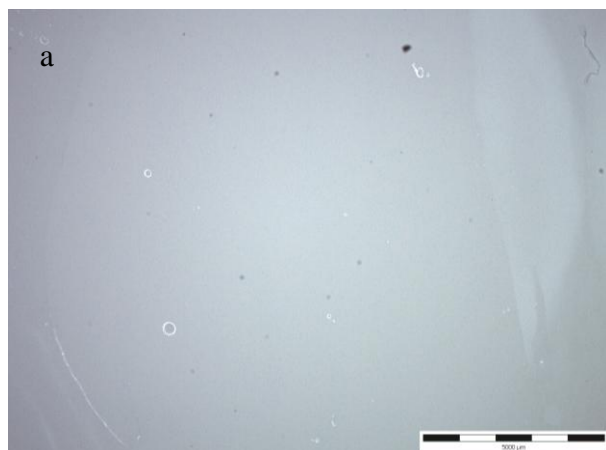
Obr. 22: Fotografie poškození alkydového nátěru (odstín modrý) působením NOP v čase:  
a – 2 min, b – 14 min



Obr. 23: Fotografie poškození PUR nátěru (odstín bílý) působením NMP v čase:  
a – 2 min, b – 10 min

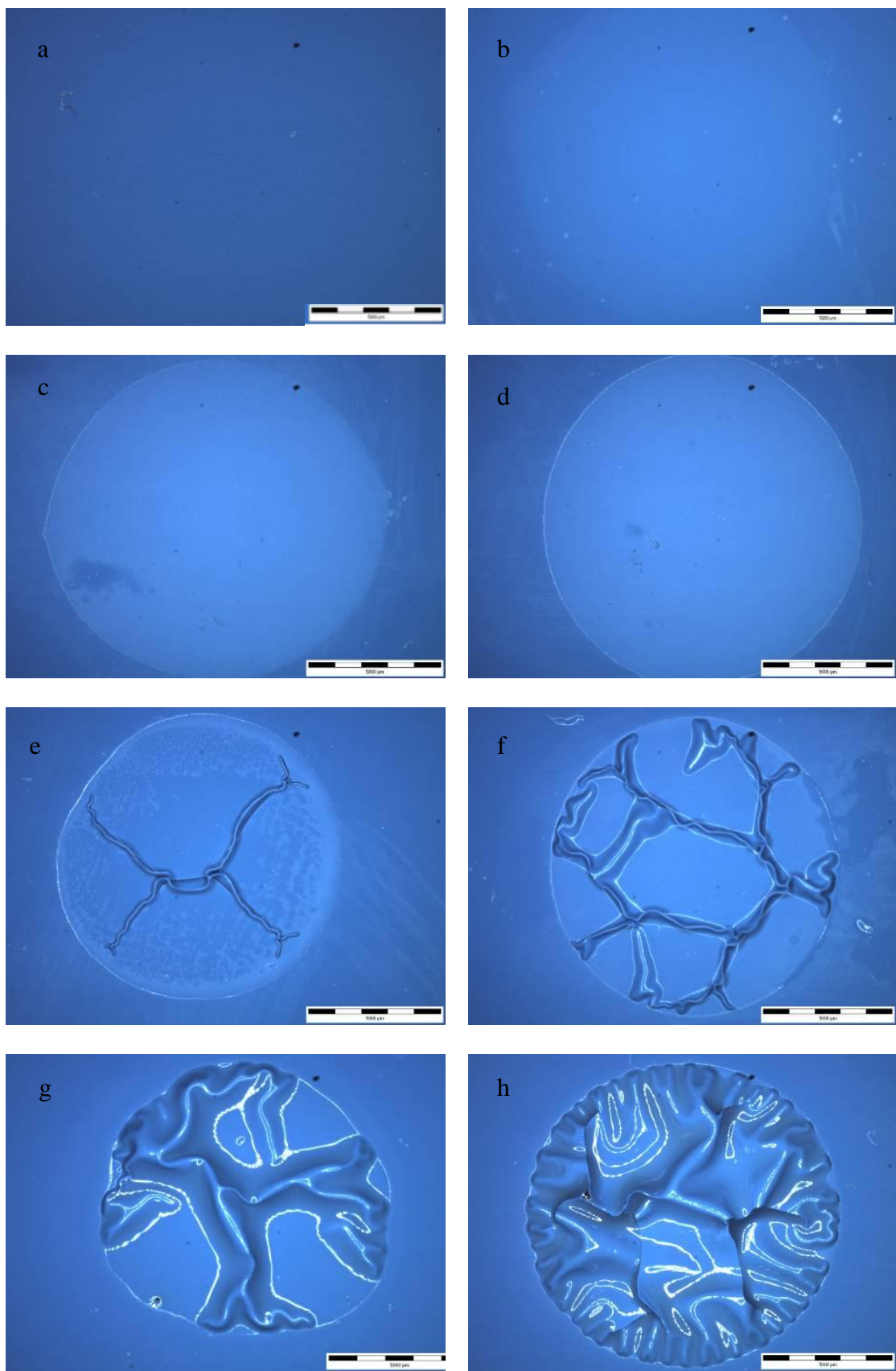


Obr. 24: Fotografie poškození PUR nátěru (odstín bílý) působením NEP v čase:  
a – 2 min, b – 10 min



Obr. 25: Fotografie poškození PUR nátěru (odstín bílý) působením NOP v čase:  
a – 20 min, b – 80 min

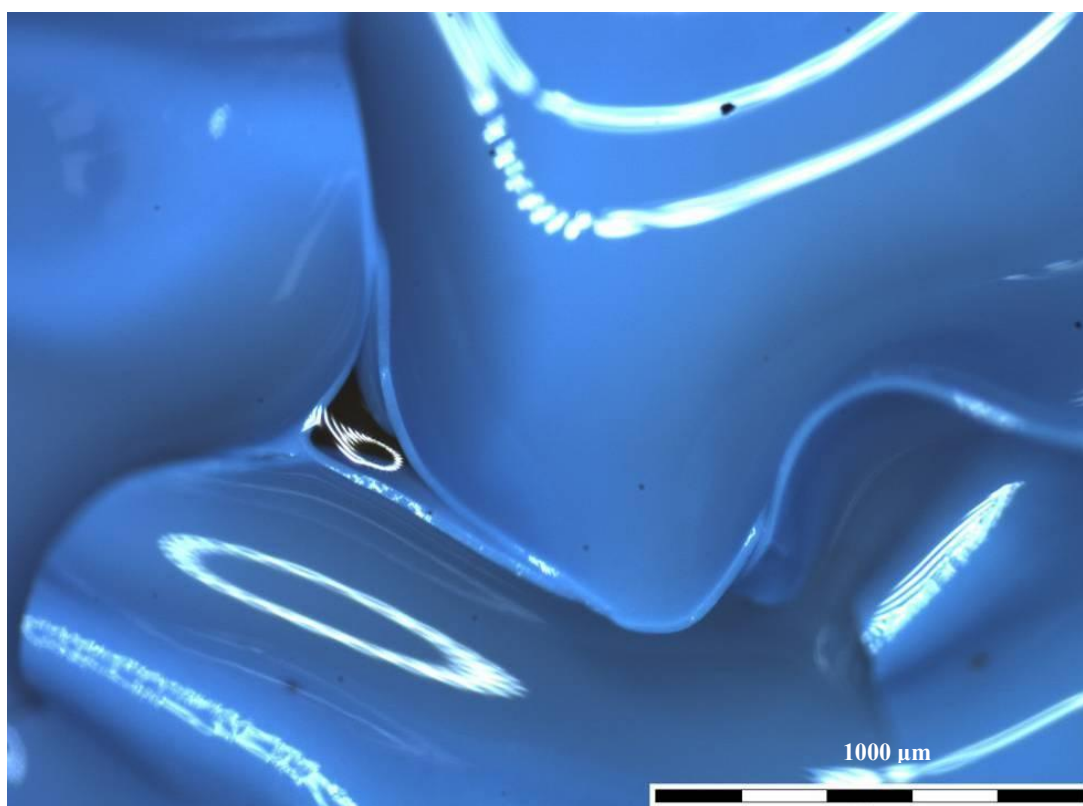




*Obr. 26: Fotografie poškození PUR nátěru (odstín modrý) působením NEP v čase:  
a – výchozí stav, b – 0,5 min, c – 2 min, d – 4 min, e – 6 min, f – 7 min, g – 8 min, h – 10 min*



*Obr. 27: Detail rozrušeného alkydového nátěru*



*Obr. 28: Detail rozrušeného PUR nátěru*

## 5. ZÁVĚR

Na základě literárního rozboru odolnosti plastových materiálů proti vlivům organických rozpouštědel byla v experimentální části této práce zaměřena pozornost na posouzení účinků tří derivátů N-pyrrolidonu na organické povlaky na bázi alkydových pryskyřic a polyuretanů. Cílem této bakalářské práce bylo vyhodnotit vliv působení N-methyl-2-pyrrolidonu, N-ethyl-2-pyrrolidonu a N-oktyl-2-pyrrolidonu na připravené povlaky vytvořené za použití vysoce kvalitních nátěrových hmot světoznámé finské firmy Tikkurila.

Těžištěm pozornosti bylo stanovení odolnosti zhotovených povlaků při účinku výše uvedených rozpouštědel v závislosti na čase. Vyhodnocením výsledků provedených zkoušek bylo potvrzeno, že alkydové nátěrové hmoty jsou chemicky velmi málo odolné. Ve srovnání s nimi vykazovaly polyuretanové povlaky výrazně vyšší odolnost.

Výsledky zkoušek prokázaly srovnatelné účinky methyl- a ethyl-derivátů. Rozdíl mezi použitými rozpouštědly byl patrný především u oktyl-derivátu. Byla u něj stanovena výrazně delší doba působení, než došlo k terminálnímu poškození nátěrů. U alkydových typů povlaků došlo působením N-methyl- a N-ethyl-derivátů k rozrušení do dvou minut, N-oktyl derivát nevykazoval tak vysokou agresivitu a k porušení povlaku došlo po více než deseti minutách.

Polyuretanové povlaky se při experimentální práci vyznačovaly vyšší odolností proti působení N-derivátů pyrrolidonu. I v tomto případě byla agresivita působení N-methyl- a N-ethyl-derivátů prakticky shodná. Hodnoty časů rozrušení povlaků se pohybovaly v rozmezí 6 – 12 minut. Podstatně nižší agresivitu vykázal N-oktyl-derivát. Rozrušení povlaků tímto derivátem bylo zjištěno po více než 60 minutách.

Práce naznačuje možnost náhrady toxického N-methyl-2-pyrrolidonu netoxickým N-ethyl-derivátem a otevírá tím cestu k formulaci rozpouštědlových a jiných čistících směsí tohoto derivátu a jiných netoxických, ekologicky výhodných perspektivních rozpouštědel.

## 6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] TULKA, Jaromír.: *Povrchové úpravy materiálů*. 1. vyd. Brno: VUT, 2005. 136 s. ISBN 80-214-3062-1
- [2] KALEDOVÁ, Andrea; KALENDA, Petr. *Technologie povrchových úprav: Pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. 1. vyd. Pardubice: Universita Pardubice, 2004. 328 s. ISBN 80-7194-691-5.
- [3] MALEK, Miroslav; TRNKA, Jiří. *Zkoušení nátěrových hmot a nátěrů*. 1. vyd. Praha: STNL, 1959. 148 s.
- [4] SVOBODA, Miloslav. *Úvod do ochrany kovů proti korozi pomocí nátěrů*. II. rozšířené vydání. Pardubice: VŠCHT Pardubice, 1978. 93 s.
- [5] IKHUORIA, Esther. Enhancing the quality of alkyd resins. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* [online]. June 2004, 3, [cit. 2011-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.bioline.org.br/pdf?pr04008>>.
- [6] *Bayercoatings.com* [online]. 2010 [cit. 2011-04-10]. The chemistry of isocyanates. Dostupné z WWW: <[http://www.bayercoatings.com/bms/dbrsc/bms\\_rsc\\_cas.nsf/id/PortalEN\\_The\\_chemistry\\_of\\_isocyanates](http://www.bayercoatings.com/bms/dbrsc/bms_rsc_cas.nsf/id/PortalEN_The_chemistry_of_isocyanates)>.
- [7] *Bayercoatings.com* [online]. 2010 [cit. 2011-04-10]. Applications of polyurethane coatings. Dostupné z WWW: <[http://www.bayercoatings.com/bms/db-rsc/bms\\_rsc\\_cas.nsf/id/PortalEN\\_Applications\\_of\\_polyurethane\\_coatings](http://www.bayercoatings.com/bms/db-rsc/bms_rsc_cas.nsf/id/PortalEN_Applications_of_polyurethane_coatings)>.
- [8] ČSN 64 1410. *Plasty. Alkydové pryskyřice. Základní společná ustanovení: Náhled obsahu normy*. Praha: [ČNI], 1987. 12 s. Dostupné z WWW: <[http://pdfonline.cni.cz/html\\_nahledy/64/29841/29841\\_nahled.htm](http://pdfonline.cni.cz/html_nahledy/64/29841/29841_nahled.htm)>.
- [9] JANEČKOVÁ, Anna; KOUDA, Pavel. *Organická chemie*. 2. dopl. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2001. 160 s. ISBN 80-86369-04-8.
- [10] PROKOPOVÁ, Irena. *Makromolekulární chemie*. 2. vydání. Praha: VŠCHT Praha, 2007. 207 s. Dostupné z WWW: <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid\\_isbn-978-80-7080-662-3/ anotace/](http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-978-80-7080-662-3/ anotace/)>. ISBN 978-80-7080-662-3.
- [11] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: VŠCHT Praha, 2006. 280 s. Dostupné z WWW: <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid\\_isbn-80-7080-617-6/ anotace/](http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-80-7080-617-6/ anotace/)>. ISBN 80-7080-617-6.
- [12] Organická rozpouštědla In *Wikiskripta* [online]. Praha: MEFANET, 2. 11. 2010, stránka naposledy změněna 24. 4. 2011 [cit. 2011-04-25]. Dostupné z WWW: [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Organick%C3%A1\\_rozpou%C5%A1t%C4%9Bdla](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Organick%C3%A1_rozpou%C5%A1t%C4%9Bdla)
- [13] EU. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 ze dne 16. prosince 2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, o změně a zrušení směrnic 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006 (Text s významem pro EHP). In *Úřední věstník L 353, 31/12/2008 S. 0001 - 1355*. 2008. Dostupný také z WWW: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:01:CS:HTML>>.

- [14] BASF Corporation [online]. c1998-2007 [cit. 2011-04-25]. N-methyl-2-pyrrolidon (NMP). Dostupné z WWW: <<http://www2.basf.us/diols/bcdiolnmp.html>>.
- [15] Elcometer [online]. Issue 03. c2009 [cit. 2011-04-27]. Elcometer 107 Cross Hatch Cutter - Instruction manual. Dostupné z WWW: <[http://www.elcometer.com/images/stories/PDFs/InstructionBooks/107\\_1542.pdf](http://www.elcometer.com/images/stories/PDFs/InstructionBooks/107_1542.pdf)>.
- [16] MARTENS, Charles R. *Technology of Paints, Varnishes and Lacquers*. New York : Reinhold Book Corp., 1968. 744 s. ISBN 0882751549.
- [17] FELIX Milan, BLÁHA Karel. *Matematickostatistické metody v chemickém průmyslu*. Praha: SNTL, 1962. 333 s.
- [18] JAROŠOVÁ, Eva. *Navrhování experimentů*. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1998. 185 s. ISBN 80-7079-321-X
- [19] IZZO, Carl. Stripping Organic Coating : Chemical, pyrolytic and mechanical methods for removing paint and powder coatings. *Products Finishing* [online]. 2/21/201, [cit. 2011-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.pfonline.com/articles/stripping-organic-coatings>>.
- [20] LINHARTOVÁ, D. *Vlastnosti a aplikace vybraných anti-depozitních a anti-graffiti polymerních povlaků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2009. 75 s.
- [21] KUNOVÁ, J. *Vliv alkylenkarbonátů na vlastnosti nátěrů při odstraňování modelových graffiti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 63 s.
- [22] Chemportal.cz [online]. 2009 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.chemportal.cz/seznam-zavazne-klasifikovanych-nebezpecnych-chemickych-latek>>.
- [23] E-learningová podpora předmětu Zpracování experimentálních dat pro Spotřební chemii na FCH VUT. <https://www.vutbr.cz/elearning/course/view.php?id=102634>

## 7. SEZNAM ZKRATEK

NMP	N-methyl-2-pyrrolidon
NEP	N-ethyl-2-pyrrolidon
NOP	N-oktyl-2-pyrrolidon
PUR	Polyuretan
RAL	ReichsAusschuss fuer Lieferbedingungen (Říšský výbor pro dodací podmínky)
ČSN	Česká technická norma
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals,
PCB	Polychlorované bifenily
VOC	Volatile organic compounds, těkavé organické látky
ASTM	American Society for Testing and Materials